



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus - ja maaehitusinstituut

Mihkel Vitsut

**TELLIS- JA SUURPLOKK KORTERELAMUTE
EHITUSTEHNILISE SEISUKORRA HINDAMINE JA
KORTERITE SISEKLIIMA RENOVEERIMISEELNE
MÕÕTMINE**

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL SITUATION IN BRICK
AND BLOCK DWELLINGHOUSES AND MEASUREMENTS
OF INNER CLIMATE IN APARTMENTS BEFORE THE
RENOVATION

Magistritöö
Maaehituse õppekava

Juhendajad: nooremteadur Martti-Jaan Miljan

Prof. Jaan Miljan

Tartu 2017

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Mihkel Vitsut		Õppekava: Maaehitus	
Pealkiri: Tellis- ja suurplokk korterelamute ehitustehnilise seisukorra hindamine ja korterite sisekliima renoveerimiseelne mõõtmine			
Lehekülgi: 69	Jooniseid: 50	Tabeleid: 13	Lisasid: 3
Osakond:		Maaehitus	
Uurimisvaldkond:		Ehitusfüüsika, ehitiste tehnilise seisukorra hindamine	
Juhendaja(d):		Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Tartu 2017	
<p>Eestis on Nõukogude Liidu ajal ehitatud korterelamud vananenud ja vajavad renoveerimist. Tartus toetatakse energiasäästlike lahenduste kasutamisel seda SmartEnCity projekti raames.</p> <p>Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida ja kaardistada seitsme nn."hruštšovka" ehitustehniline seisukord ja neist hoonetest 26 korteri sisekliima parameetrid enne renoveerimist.</p> <p>Magistritöö käigus anti korterelamutele visuaalse vaatluse teel, numbrilise hindamissüsteemi alusel tehnilise seisukorra hinnang. Termografeeriti uuritavad hooned väljast ja uuritavad korterid seest. Korterite piirete õhupidavus määrati ventilaatoriga survestamise meetodiga Salvestati korterite sisetemperatuur ja suhteline õhuniiskus andmesalvestajatega. Siseõhu temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse andmed on kahe kuu pikkusest perioodist.</p> <p>Tehniline seisukord on uuritavates hoonetes rahuldav, kuid puudulik on välisseinte soojustus ja esineb külmasildasid, mis on kriitilised. Esineb hallituse ja kondensaadi tekkeohtu. Mõõteperioodi korterite keskmine õhutemperatuur oli 22,2°C ja keskmine suhteline õhuniiskus 35,6%. Niiskuskooormust hinnati niiskustõrjela abil, mis oli 3,8 g/m³. Keskmine õhulekkearv oli 4,6 m³/(h·m²). Telliskorterelamud on vähem õhupidavad kui suurplokkidest hooned.</p> <p>Kogutud andmeid saab võrrelda samatüübiliste andmetega, mida kogutakse võimalusel samadest korterelamutest ja korteritest, kuid juba renoveeritud olukorras.</p>			
Märksõnad: sisekliima, õhuvahetuskordsus, niiskuskooormus, ehitiste tehniline seisukord			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Mihkel Vitsut		Specialty: Civil Engineering	
Title: Assessment of the technical situation in brick and block dwellinghouses and measurements of inner climate in apartments Before the renovation			
Pages: 69	Figures: 50	Tables: 13	Appendixes: 3
Department:		Civil Engineering	
Field of research:		Building physics, assessment of technical conditions of buildings	
Supervisors:		Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan	
Place and date:		Tartu 2017	
<p>In Estonia, there are apartment buildings from Soviet Union's period, which are outdated and in need for renovation. In Tartu, if energy efficient solutions are used, renovation is supported by the SmartEnCity project.</p> <p>This master's thesis aim is to examine and document so called "khrushovka's" constructions' technical condition of the seven apartment buildings and indoor climate parameters of 26 apartments from those houses.</p> <p>During the process of composing this thesis the apartment buildings were given assessment of their technical condition on numerical evaluation based on visual observations. Thermography was carried out from outside of the investigated buildings and inside of the investigated apartments. The apartments' air permeability was determined with the fan pressurization method. Indoor temperature and relative humidity was measured and logged with data loggers. Data is from period of two months.</p> <p>The technical condition of assessed apartments buildings is satisfactory, but the wall insulation is defective and critical thermal bridges occur. There is risk of mold growth and condensation of humidity.</p> <p>During the measuring period, the apartments' average room temperature was 22,2°C and average relative humidity was 35,6%. Humidity load was found out by internal moisture excess, it was 3,8 g/m³. The average air permeability was 4,6 m³/(h·m²). Brick wall apartment buildings are less airtight than buildings made from big blocks.</p> <p>The collected data can be compared with similar types of data, if possible, collected from the same apartment buildings and apartments, but already in renovated situation.</p>			
Keywords: indoor climate, air change rate, hygrothermal load, technical conditions of buildings			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. KORTERELAMUTE SISEKLIIMA JA TEHNILINE SEISUKORD	8
1.1. Uuritavate korterelamute ajalugu.....	8
1.2. Projekti SmartEnCity ülevaade.....	9
1.3. Nõuded sisekliimale.....	10
1.4. Varasemate uuringute tulemustest	11
1.4.1. Lühiülevaade varasematest uuringutest.....	11
1.4.2. Korterite siseõhu temperatuur ja suhteline õhuniiskus.....	12
1.4.3. Korterelamute tehniline seisukord.....	16
1.4.4. Hoonepiirete õhupidavus	18
1.4.5. Korterielanike küsitluse tulemused	19
2. KORTERELAMUTE EHITUSTEHNILISE SEISUKORRA HINDAMISE JA EHITUSFÜÜSIKALISTE MÕÕTMISTE METOODIKA.....	20
2.1. Uuritavate korterelamute valik ja ülevaade	20
2.2. Ehitise tehnilise seisukorra hinnang	21
2.3. Termografia	23
2.4. Sisekliima parameetrid	25
2.4.1. Temperatuur ja suhteline õhuniiskus.....	25
2.5. Piirete õhupidavus.....	27
2.6. Korterielanike küsitlus.....	29
3. HINDAMISTE JA MÕÕTMISTE TULEMUSED.....	30
3.1. Hoonete ehitustehnilise seisukorra hinnang.....	30
3.1.1. Üldine seisukorra hinnang.....	30
3.1.2. Vundamentide ja soklite olukord.....	31
3.1.3. Vahelagede ja ühiskondlike ruumide olukord.....	31
3.1.4. Välisseinte olukord.....	34
3.1.5. Avatäidete olukord	36
3.1.6. Katuste ja pööningute olukord.....	36
3.1.7. Tehnosüsteemide olukord.....	38
3.2. Termografeerimise tulemused	39
3.2.1. Korterelamute väline termografeerimine.....	39
3.2.2. Korterite sisemine termografia ja külmasildade kriitilisus.....	41
3.3. Korterite temperatuur ja suhteline õhuniiskus	44
3.4. Hoone piirete õhupidavus	50
3.5. Korterielanike küsitlus.....	53
KOKKUVÕTE	57

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL SITUATION IN BRICK AND BLOCK DWELLINGHOUSES AND MEASUREMENTS OF INNER CLIMATE IN APARTMENTS BEFORE THE RENOVATION	59
KASUTATUD KIRJANDUS	62
LISAD	65
Lisa 1. Korterite koondandmed	66
Lisa 2. Tehnilise seisukorra hinnatavad osad ja hinded	67
Lisa 3. Korterielanike küsitluse kütte- ja ventilatsiooniprobleemide suurus.....	68

SISSEJUHATUS

Tänapäeva ühiskonnas pööratakse järjest enam tähelepanu elukeskkonna mugavusele ja kvaliteedile. Inimesed veedavad suure osa oma ajast kodudes ja seetõttu on eriti oluline, et elamine oleks mugav ja eluaseme sisekliima kvaliteetne.

Eestis asub ligikaudu 70% korteritest madala energiatõhususe ja halva ehituskvaliteediga hoonetes, mis on püstitatud 1960. kuni 1980. aastatel [1]. Vanemad korterelamud on nii moraalselt ja füüsiliselt kui ka visuaalselt vananenud ning vajavad kapitaalset renoveerimist. Kuna põhjalik renoveerimine on kulukas ja käib korteriühistutele omavahenditest kavandamisel üle jõu, rakendatakse Eestis erinevaid meetmeid renoveerimistegevuste toetamiseks. Näiteks Tartu on liitunud rahvusvahelise koostööprojektiga SmartEnCity, mille raames toetatakse energiatõhusate lahenduste kasutamisel kortermajade renoveerimist.

Lõputöö eesmärgiks on kaardistada Tartus kesklinna piirkonnas asuvate, 60-ndatel ehitatud kortermajade, nn. "hruštšovkade" ehitustehnilised probleemid ja korterite sisekliima parameetrid. Uurimiseks valitud hooned asuvad projekti SmartEnCity pilootalas, ja need planeeritakse renoveerida 2017. või 2018. aastal. Eesti Maaülikool plaanib uurida seitset hoonete ja nendes asuvat 26 korterit. Kogutud andmeid saab võrrelda samade hoonete ja korterite näitajatega, et saada informatsiooni renoveerimise tulemlikkusest. Antud lõputöö raames mõõdetakse parameetrid enne renoveerimist.

Magistritöö esimeses peatükis antakse ülevaade uuritavate korterelamutega sarnast tüüpi hoonete ajaloost ja SmartEnCity projektist. Kirjandusallikate põhjal on toodud nõuded sisekliima näitajatele. Varasemate uuringute tulemustes kajastatakse peamiselt Eestis uuritud korterelamute tehnilise seisukorra probleeme ja sisekliima näitajaid. Võrdlusmomendi tekitamiseks on väljatoodud ka lähiriikides: Lätis, Leedus ja Soomes uuritud sarnaste korterelamute sisekliimaatiline olukord.

Teises peatükis on toodud meetodikad uuringusse valitu hoonete seisukorra ja sisekliima hindamiseks. Tehnilist seisukorda hinnatakse visuaalse vaatluse teel ja antakse igale uuritavale hoonele numbriline hinne. Tehnilise toimivuse hindamiseks termopildistatakse korterelamute välisfassaade ja uuritud korterite sees esinevaid külmalekkeid. Sisekliima

andmete kogumiseks mõõdetakse korterites temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust ning salvestatakse need digitaalsesse andmesalvestajasse. Lisaks mõõdetakse uuritavates korterites piirdetarindite õhupidavust.

Kolmas peatükk käsitleb uuritud tulemusi. Annab ülevaate hoonete üldisest tehnilisest seisukorrast ja hooneosade seisukorrast. Antakse ülevaade termografeerimisel tuvastatud defektides ja külmasildade kriitilisusest. Kogutud sisekliima andmete põhjal analüüsitakse korterite sisetemperatuuride ja õhuniiskuse sõltuvust erinevatest mõjutajatest ja parameetrite vastavust standarditele. Hinnatakse ka korterite niiskuskooormuseid. Antakse ülevaade läbiviidud korteripiirete õhupidavuse mõõtmistulemustest ning tuuakse võrdlus varasemate uuringutulemustega. Tulemuste viimane alapunkt on kokkuvõtte uuritud korterite elanikele tehtud ankeetküsitlusest ja kogutud andmetest.

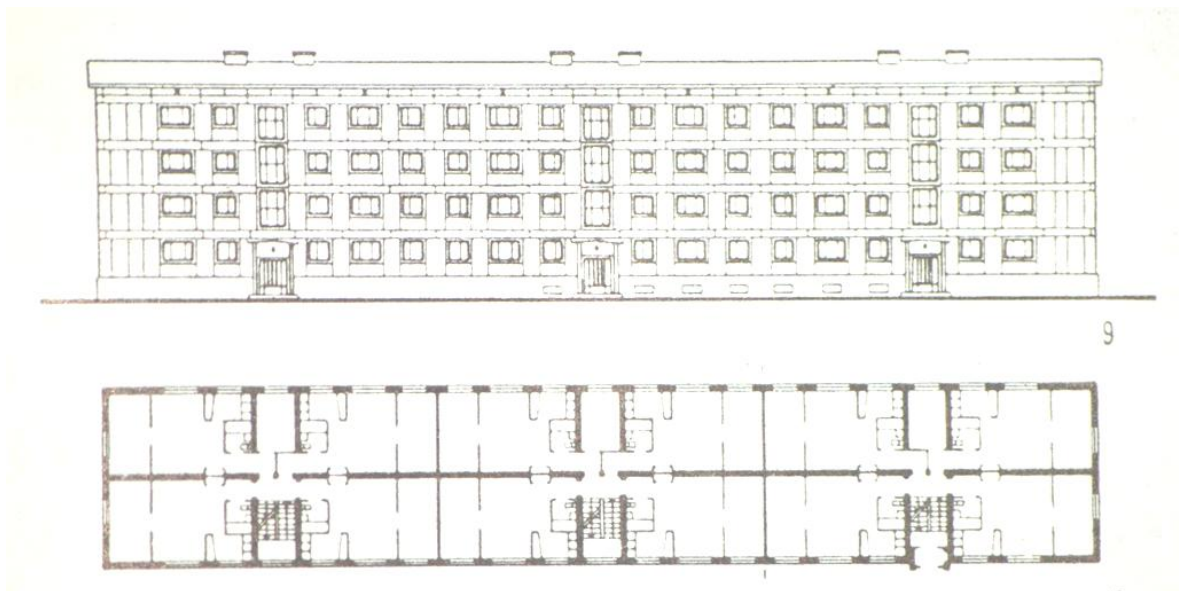
Uuringusse valitud korterelamute ühistutelt kooskõlastuse ja nõusoleku saamine ning andmete kogumine nõudis palju aega. Juhatuse liikmetega suhtlemist ja uuritavate korterite elanikega mõõtmisteks sobivate aegade kokkuleppimist. Korterelamud tuli väljast termopildistada. Tehnilise seisukorra hindamiseks, koostöös korteriühistute juhatuse ja haldusfirmadega läbi käia ja dokumenteerida keldrid, koridorid ja pööningud. Kõikidesse uuritavatesse korteritesse paigaldada sisetemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse andmesalvestajad ja kokku leppida elanikele sobiv aeg piirete õhupidavuse mõõtmiseks. Uuritavaid hooneid oli kokku 7 ja neist uuritavaid kortereid 26, iga korteri õhupidavuse mõõtmine võttis aega ca. 3 tundi. Elanikega tuli uuesti kokku leppida sobiv aeg loggeritest andmete mahalaadimiseks. Erinevaid parameetreid oli palju ja töötlust vajav andmemaht suur.

Autor tänab uuritud hoonetes tegutsevaid korteriühistute juhtisikuid, kes aitasid kortereid uuringusse kaasata ja korterite elanikke, kes olid nõus uuringus osalema. Autor on tänulik juhendajatele: Martti-Jaan Miljanile suure abi eest mõõtmiste läbiviimisel ja andmete analüüsimisel ning Jaan Miljanile lõputöö teema väljapakkumise eest.

1. KORTERELAMUTE SISEKLIIMA JA TEHNILINE SEISUKORD

1.1. Uuritavate korterelamute ajalugu

Uuritavad korterelamud on ehitatud aastatel 1959 - 1965. aasta. Massiliselt püstitati sellist tüüpi korterelamuid Nõukogude Eestis 1950. aastate lõpust ligikaudu kümne aasta jooksul [2]. Selle ajal oli võimul tollase NSV liidu juht Nikita Hruštšov . Sellest tulenevalt on need ehitised saanud ka oma rahvapärase nime "Hruštšovkad" [3]. 1958. aastal toimus elamuehituse murrang, võeti vastu uued elamute projekteerimise normid ja lähtuti põhimõttest, et iga korter on ette nähtud ühele perekonnale. Selleks töötati välja minimalistliku planeeringuga korterid. Üleliidulise tüüpprojektide põhimõtete järgi töötati välja vabariiklik elamute tüüpprojektide seeria 1-317, mille vaade ja põhiplaan on toodud joonisel 1 [4].



Joonis 1. Elamu vaade ja põhiplaan tüüpprojektide seeriast 1-317. [4]

Tüüpiliselt on nende majade korterid väikesed, ühe- või kahetoalised, väikeste köökide ja esikutega. Konstruktsiooni järgi jagunevad nn."hruštšovkad" kaheks - silikaattellistest ja silikaaltsiidist või põlevkivituhast valmistatud suurplokkidest hooneteks. Tavaliselt on korterelamud kolme- kuni viiekorruselised ja kahe- kuni nelja sektsiooniga (trepikojaga).

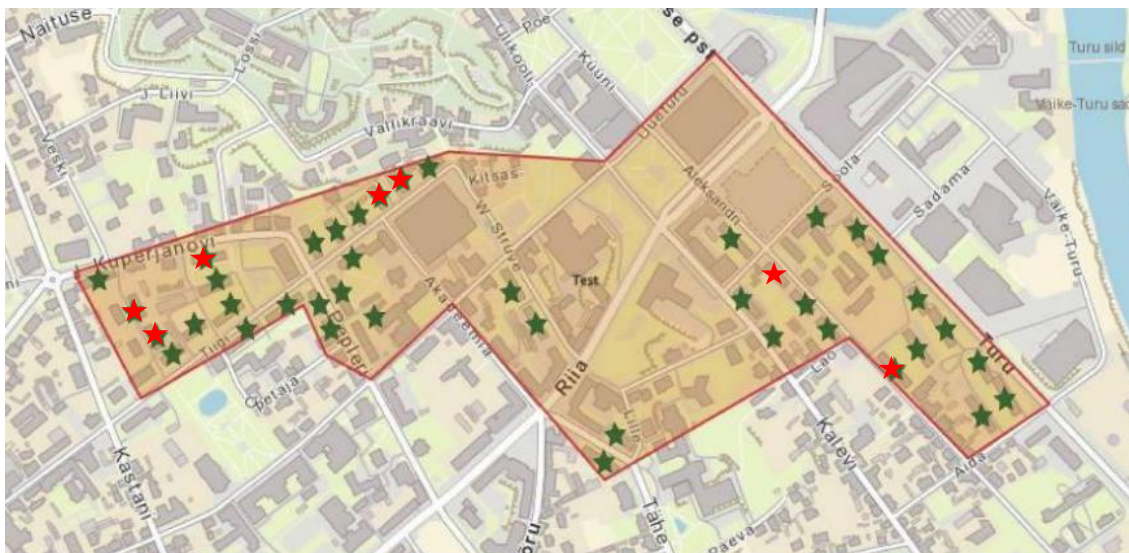
"Hruštšovka" tüüpi majad on Eestis laialdaselt levinud ja neid võib leida suurematest linnadest ning maa-asulatest. Hruštšovkasid püstitati Tartu kesklinna piirkonda, kus Teises Maailmasõjas oli hävinud olemasolev hoonestus: Aleksandri tn, Turu tn ja Tiigi tn piirkondadesse. [5]

1.2. Projekti SmartEnCity ülevaade

SmartEnCity on rahvusvaheliselt tasandil läbiviidav koostööprojekt, mille eesmärgiks on luua säästvad ja nutikaid lahendusi linnakeskkonda. Projektis osalevad "majakalinnad" - Tartu (Eesti), Sondeborg (Taani) ja Vitoria-Gasteiz (Hispaania), kus püütakse ühe linnaosa ulatuses rakendada väljatöötatud energiasäästu lahendusi ja neid kogemusi rakendatakse järgijates linnades - Lecce (Itaalia) ja Asenovgrad (Bulgaaria). [6]

Projekti raames läbiviidavateks tegevusteks on olemasolevate hoonete renoveerimine ja nende energiatõhusamaks muutmine, avalike elektriautode laadimispunktide rajamine ja rendipunktide avamine, olemasoleva taristu energiatarbe vähendamine, info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate lahenduste väljatöötamine, kogukondade kaasamine ning saadud tulemuste levitamine. [7]

Hoonete renoveerimise pilootalas (Tartu) on 42 korterelamut (joonis 2), millest 20-23 renoveeritakse. Kokku on renoveeritavat köetavat pinda umbes 39000m² ja 900 korterit. Kavas on energiatarbe vähendamine tasemelt 270 kWh/m²/a tasemele kuni 90kWh/m²/a. Selle saavutamiseks paigaldatakse hoonetel päikesepaneelid ja viiakse sisse nutikodu lahendused. [8]



Joonis 2. Pilootala kaart. Rohelised tähekesed tähistavad sihtgrupi korterelamuid [9], punased tähekesed tähistavad antud uuringusse kaasatud korterelamuid

Sihtgruppi kuuluvatel korteriühistutel on võimalik taotleda renoveerimistoetust, Tartu linnalt, vastavalt määrusele nr. 119 "Targa linna korterelamu rekonstrueerimise toetus" [10]. Toetuse määr sõltub korterelamu suurusest ja on vastavalt 102 eurot korterelamu suletud netopinna ühe ruutmeetri kohta. Lisaks on korteriühistutel võimalus taotleda sihtasutuse Kredex renoveerimistoetust, juhul kui kvalifitseerutakse ja tingimused toetuse saamiseks on täidetud [11]. Kredexi toetust on korteriühistutel võimalik saada maksimaalselt 40% ulatuses renoveerimise kogumaksumusest järgijäävale summale peale Tartu linna poolt makstava toetuse mahaarvestamist [9].

1.3. Nõuded sisekliimale

Nõuded eluruumidele on kehtestatud vabariigi valitsuse määrusega nr 85 [12]. Antud nõuded peaksid tagama inimestele ööpäevaringselt ohutu ja tervisliku elukeskkonna. Eelnimetatud määruses on välja toodud nõuded eluruumide piiretele, pindaladele ja ruumaladele ning elukeskkonna sisekliimaks sobivad parameetrid. Inimeste soojuslik mugavus on väga erinev ja oleneb paljugi iga indiviidi harjumustest. Eluruumis olev temperatuur peab olema optimaalsel tasemel, et luua hubane soojustunne. Kaugküttevõrgust või hoone katlamajast köetavates elamisruumides ei tohiks minimaalne siseõhu temperatuur jääda alla 18°C. Suhteline õhuniiskus peaks jääma vahemikku 40-

60%, mis on optimaalne väärtus vältimaks inimeste tervisekahjustusi, veeauru kondenseerumist ja niiskuskahjustuste teket. [12]

Hoonete sisekliima klassifitseerimiseks on toodud standardis EVS-EN 15251:2007 [13] sisekliima klassid (tabel 1).

Tabel 1. Sisekliima klassid [13]

Sisekliima klass	Selgitus
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitavad ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, näiteks puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed.
II	Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritavates hoonetes.
III	Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes.
IV	Sisekliima kvaliteedi väärtused, mis jäävad väljapoole eelmainitud klasse. Antud klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajal aastast.

Tabel 2. Sisekliima klasside temperatuuride ja suhtelise õhuniiskuse piirsuurused [13]

Sisekliima klass	Temperatuur talveperioodil		Suhteline õhuniiskus
I	$22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	21°C kuni 23°C	30% kuni 50%
II	$22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	20°C kuni 24°C	25% kuni 60%
III	$22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$	19°C kuni 25°C	20% kuni 70%
IV	$22^{\circ}\text{C} \pm >3^{\circ}\text{C}$	$<19^{\circ}\text{C}$ kuni $>23^{\circ}\text{C}$	$<20\%$ kuni $>70\%$

Standardist väljatoodud tabeli (tabel 2) alusel on võimalik mõõdetud sisekliima parameetrite (temperatuur ja suhteline õhuniiskus) alusel määrata, millisesse klassi hoone peaks kuuluma ja millisesse kuulub tegelikult.

1.4. Varasemate uuringute tulemustest

1.4.1. Lühiülevaade varasematest uuringutest

Varasemalt on kortermajade sisekliimat ja tehnilist seisukorda Eestis uuritud peamiselt Tallinna Tehnikaülikooli uurimisgrupi poolt ning on välja antud uuringu lõppraportid: "Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga" [14] ja "Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga" [15] ja artiklid [16], [17]. Need on põhilised uuringud, milles

kasutatud sisekliima parameetrite uurimismetoodikale ka käesolevas töös toetutakse. Lisaks on käesolevas uuringus käsitletud hoonetega sarnast korterelamut uuritud Ülle Kaha lõputöös teemal: "Hruštšovka renoveerimise võimalused SmartEnCity projekti raames" [18]. Käesolevas töös kajastatakse varasemate uuringute tulemustes ka lähiriikide Soome, Leedu [19] ja Läti [20] korterelamute sisekliima parameetrite mõõtetulemusi.

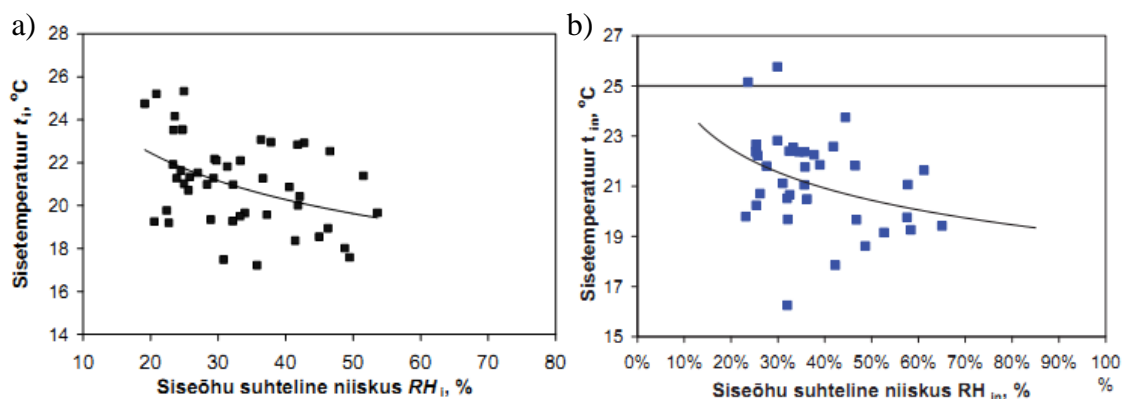
1.4.2. Korterite siseõhu temperatuur ja suhteline õhuniiskus

Eestis läbiviidud uuringutulemustest selgunud korterite siseõhu temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad on toodud tabelis 2. Keskmised temperatuurid jäävad kõikide vaadeldud Eesti uuringute puhul vahemikku $+21^{\circ}\text{C}$ kuni $+23,4^{\circ}\text{C}$, kuid minimaalsete ($+12^{\circ}\text{C}$) ja maksimaalsete ($+29^{\circ}\text{C}$) temperatuuride vahest järeldub, et korterite siseõhu temperatuur kõigub väga suures ulatuses. Sisetemperatuuride kõikumine kütteperioodil ei ole otseselt sõltuv välistemperatuurist, vaid hoopis küttesüsteemi reguleerimisgraafikust. Juhul kui korterites on termostaatideta radiaatorid ja kütteevee soojusregulaatori graafik on paigast ära, võib selle tulemusena järgneda ruumide alajahtumine või ülekütmine [14].

Tabel 3. Korterite siseõhu temperatuurid ja suhteline õhuniiskus [16] [17] [18]

	Telliskorterelamud [16]		Suurpaneel-elamud [17]		Hruštšovka [18]	
Temperatuur	keskmine $t^{\circ}\text{C}$	min max $t^{\circ}\text{C}$	keskmine $t^{\circ}\text{C}$	min max $t^{\circ}\text{C}$	keskmine $t^{\circ}\text{C}$	min Max $t^{\circ}\text{C}$
Suvel	$+23,2^{\circ}\text{C}$	$+20,2^{\circ}\text{C}$ $+25,8^{\circ}\text{C}$	$+23,4^{\circ}\text{C}$	$+20,2^{\circ}\text{C}$ $+25,2^{\circ}\text{C}$	$+21^{\circ}\text{C}$	$+17,3^{\circ}\text{C}$ $+26,1^{\circ}\text{C}$
Talvel	$+21,1^{\circ}\text{C}$	$+12^{\circ}\text{C}$ $+29^{\circ}\text{C}$	$+21,3^{\circ}\text{C}$	$+16,3^{\circ}\text{C}$ $+25,8^{\circ}\text{C}$		
Suhteline õhuniiskus	keskmine %	min max %	keskmine %	min max %	keskmine %	min max %
Suvel	52%	42% 62%	52%	43% 70%	50%	18% 87%
Talvel	33%	19% 54%	37%	23% 65%		

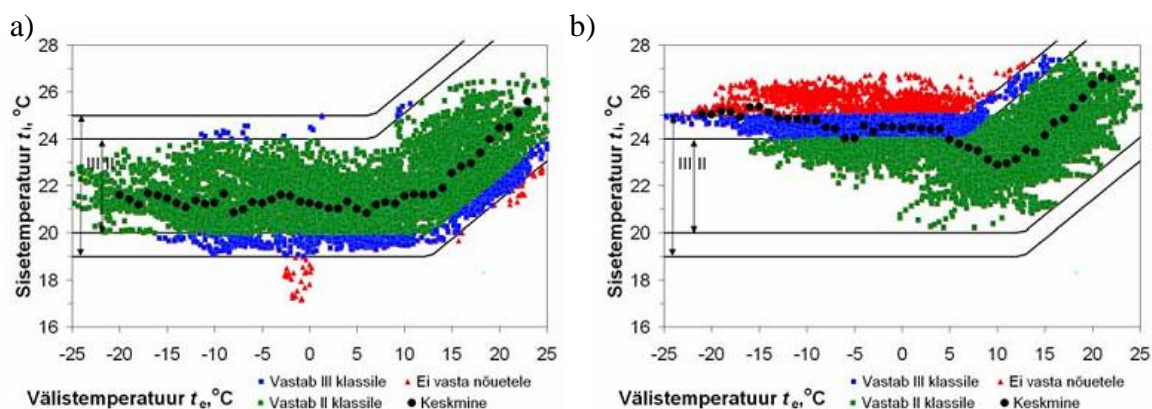
Korterite siseõhus suhteline niiskus on suve- ja talveperioodil erinev (tabel 3). See sõltub otseselt sisetemperatuurist, välisõhu veeauru sisaldusest ja välisõhu temperatuurist, ventilatsioonist ja niiskustootlusest siseruumides. Keskmise siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus sisetemperatuurist talveperioodil telliskorterelamutes ja suurpaneel-elamutes on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus sisetemperatuurist: a) telliselamutes ja b) suurpaneel-elamutes [14] [15]

Võrreldes lähiriikides tehtud uuringutega, iseloomustab Eesti korterelamute sisekliimat kõrgem niiskuskooormus ja madalam temperatuur [16].

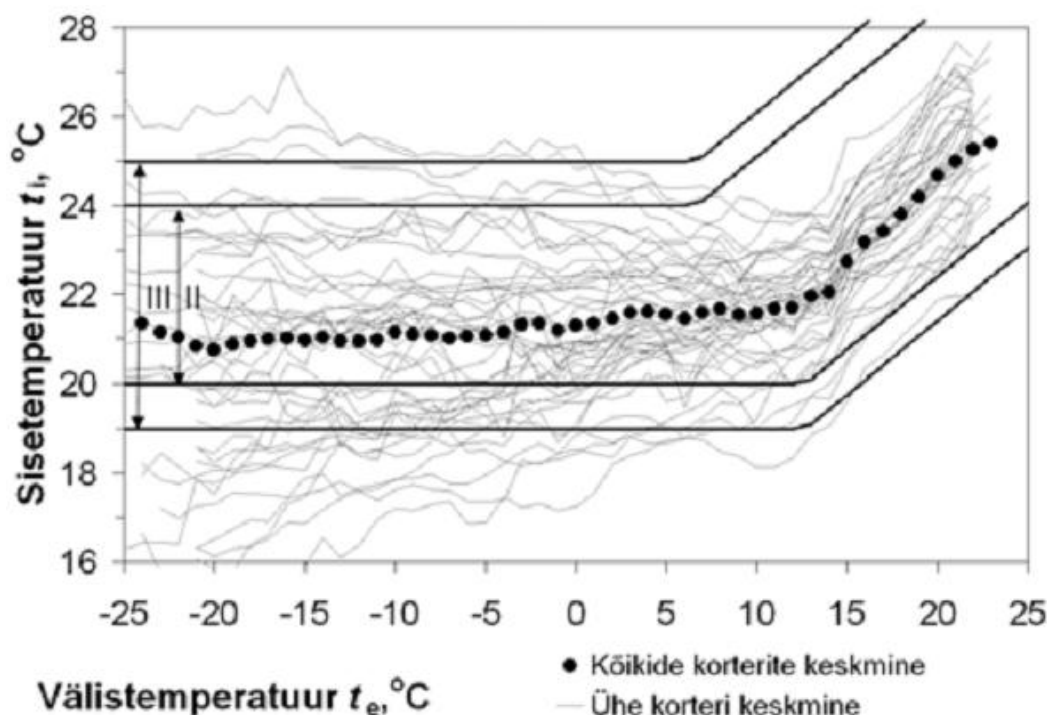
Korterite sisetemperatuuride vastavus standardis EVS-EN-15251:2007 väljatoodud sihtarvudele, annab võimaluse hinnata sisekliima vastavust sisekliima klassile. Ühe võimalusena vaadeldakse protsenti ajast, millal sisetemperatuur ületab standardis esitatud II ja III sisekliima klassis nõudeid. Telliskorterelamute uuringust [14] selgub, et 52% korterites ei vastanud sisetemperatuur III sisekliima klassi nõuetele ja 88% korterites II sisekliima klassi nõuetele (mõlemad väärtused on 5% piirsuuruse lubatud ületusega). Joonisel 4 on toodud näitena hästi standardile vastav korter ja ülekõetud korteri sisetemperatuuri vastavus standardile [14].



Joonis 4. Hästi standardile vastava korteri sisetemperatuuri (a) ja ülekõetud korteri sisetemperatuuri vastavus standardile (b) [14]

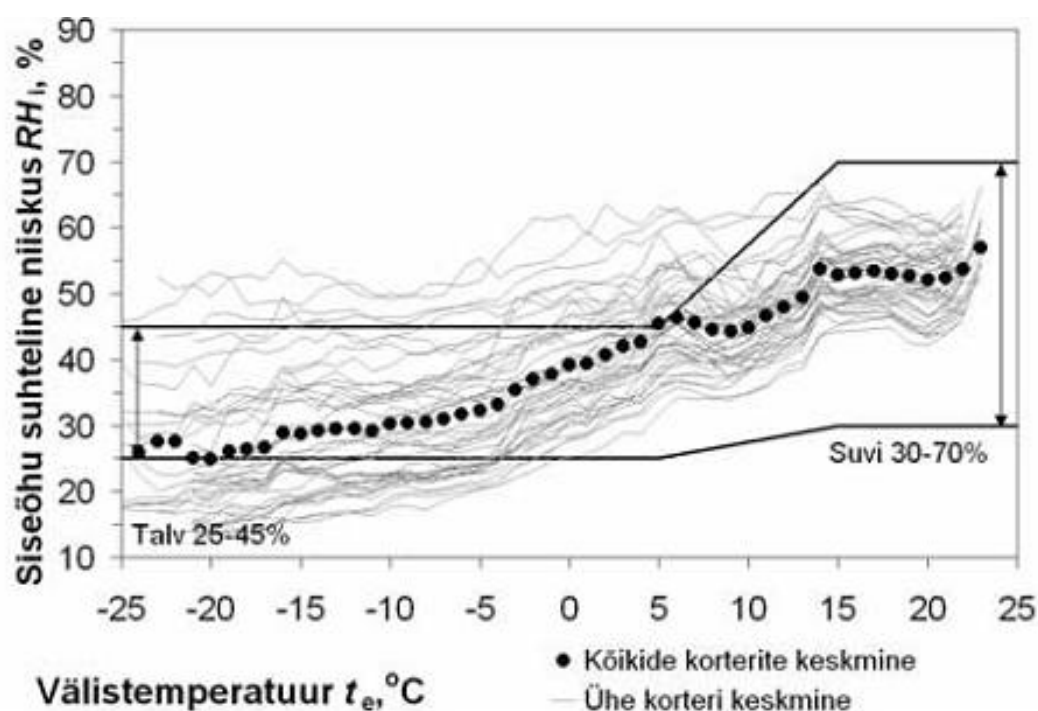
Suurpaneel-elamute puhul ei vasta korterite siseõhutemperatuur kütteperioodil III sisekliima klassi nõuetele 41% korteritest. Sisekliima II klassi nõuetele vastavat temperatuurivahemikku ületati 70% korterites [15]. Seevastu uuritud hruštšovka puhul vastab siseõhu temperatuur 98% ajast sisekliima III klassi nõuetele [18]. Lätis tehtud uuringu kohaselt vastasid kahes majas (10 korterit) läbiviidud sisetemperatuuri mõõtmistulemused sisekliima II klassi nõuetele. Täheldati küll osades korterites suuri temperatuurikõikumisi, kuid keskmised temperatuurid jäid $+20,3^{\circ}\text{C}$ ja $+23,5^{\circ}\text{C}$ vahemikku [20]. Soomes uuritud korteritest ei langenud temperatuur üheski neist alla 22°C . Seevastu Leedus uuritud korteritest 57% ei olnud II sisekliima klassis määratud $+20^{\circ}\text{C}$ kuni $+24^{\circ}\text{C}$ piirides [19].

Telliselamute korterite keskmise siseõhu temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist on esitatud joonisel 5. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta on arvutatud siseõhu keskmine temperatuur, mis esindab korteri sisetemperatuuri. Temperatuuride hajuvus on eriti suur külmal perioodil, kui on ka kütteperiood. Kui korterelamu küttesüsteemi reguleerimisgraafik sõltub välistemperatuurist, esineb korterites külmade välistemperatuuride korral ülekütmist või alajahtumist.



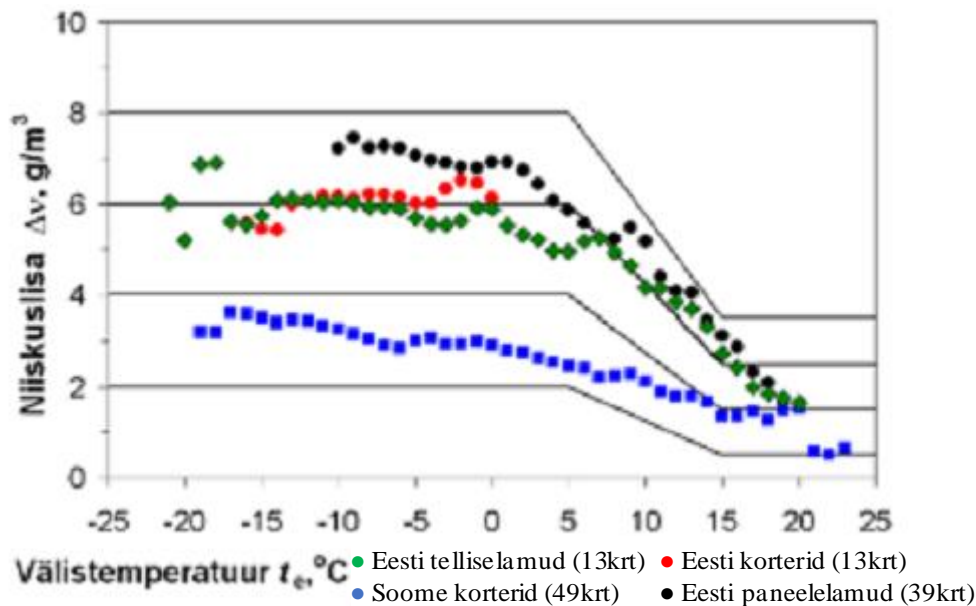
Joonis 5. Varem uuritud telliskorterelamute korterite siseõhu temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist [14].

Siseõhu suhtelise niiskuse sõltumine välistemperatuurist telliselamutes [14] on leitud analoogselt sisetemperatuuri sõltuvusega välistemperatuurist. Kõikide uuringus osalenud korterite siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist on toodud joonisel 6. Tumeda punktiirjoonega tähistatud keskmise siseõhu suhtelise niiskuse väärtus sõltuvalt välistemperatuurist on etteantud vahemikus - talveperioodil 25% kuni 45% ja suveperioodil vahemikus 30% kuni 70%. Kuid erinevates korterites (hall peenike joon) on siiski näha suurt suhtelise õhuniiskuse väärtuste erinevust.



Joonis 6. Varem uuritud korterite suhtelise õhuniiskuse sõltuvus välistemperatuurist. [14]

Korterite siseõhu temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse järgi, ei saa hinnata korteri niiskuskooormust. Selleks kasutatakse niiskuslisa, mis näitab siseõhu ja välisõhu veeaurusisalduste erinevust. Niiskuskooormust peamiselt mõjutavateks teguriteks on ventilatsiooni toimivus ja niiskustootlus korterites (pesu kuivatamine siseruumides, toidu valmistamine jms). Eesti telliskorterelamutes on niiskuskooormus kütteperioodil $6-7 \text{ g/m}^3$ [14]. Erinevate uuringute tulemuste võrdlus on toodud joonisel 7.



Joonis 7. Niiskuslisa arvutussuuruste uuringutulemuste võrdlus [14].

Telliselamutes läbiviidud uuringu tulemused on samas suurusjärgus teiste varem Eestis läbiviidud uuringute tulemustega. Võrreldes Soome kortermajades fikseeritud niiskuslisa väärtustega on Eesti uuringutes osalenud majades niiskuslisa ligi kaks korda suurem [14].

1.4.3. Korterelamute tehniline seisukord

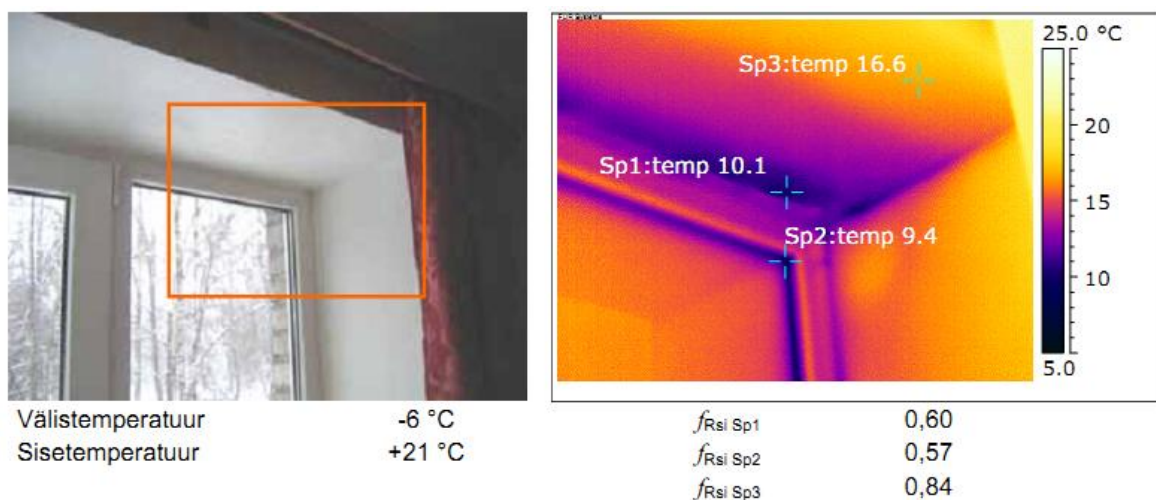
Telliskorterelamute ehitustehnilist seisukorda on uuritud Kredexi tellimusel Tallinna Tehnikaülikooli uurimisgrupi poolt [14]. Alljärgnev ülevaade on refereering sellest uuringust.

Varasemas uuringus väljatoodud telliskorterelamute vundamentide ja soklite defektideks on: vundamentide ebaühtlane vajumine, sokli veekahjustused ja krohvikahjustused ning probleemid sillutisribade olukorraga.

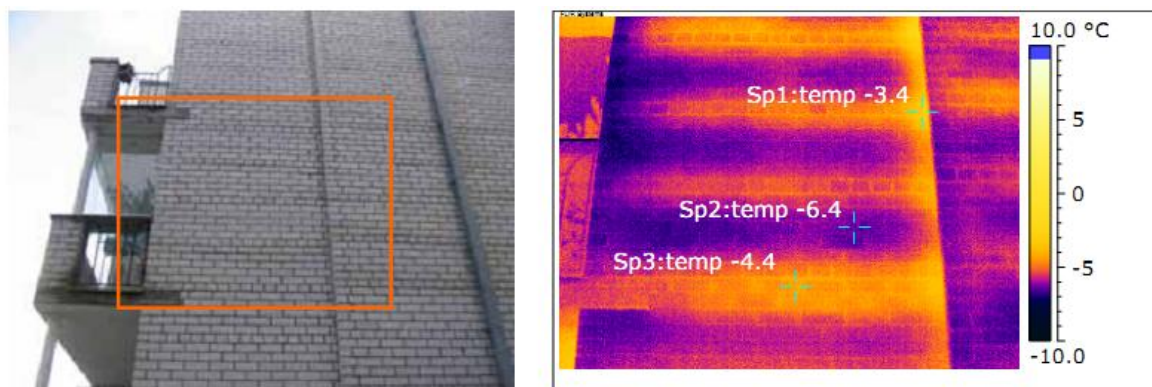
Telliskorterelamute välisseinte põhilisteks probleemideks on fassaadikihi läbilõikunud sidemed kandva osaga. Sidekiviread on külmumise ja niiskumise tõttu nõrgenenud ning läbi lõikunud või terasest sidemed läbiroostetanud. Fassaadikivide külma- ja veekahjustused on tingitud telliste väiksest külmakindlusest ja suurest veekoormusest. Vesi satub kivifassaadidele ja pragudesse puuduvate aknaplekkide tõttu, hoonetele liiga lähedal

asuvalt taimeestikult ja fassaadidetailidelt (antennid, kaablid jms). Veekahjustustest tingituna lagunenud müüritise defektid kanduvad kive mööda kiirelt edasi ja kui tekkepõhjuseid ei kõrvaldata lagunevad kivid järjest edasi. Praod kivides ja vuukides on tähelepanu vajav probleem, mis võib viidata vundamentide vajumisele või probleemidele kogu hoone kandevõimes.

Telliselamute uuringus termografeeriti hooneid nii seest- kui ka väljastpoolt. Termografeerimisel tuvastatud soojuslekkekohad on: otsaseinad ja külgeseinad, avatäidete ümbrus (joonis 8), sokli ja välisseina liitekoht ning sidekiviread välisseinas (joonis 9).



Joonis 8. Akna ümbruse külmasild, foto ja termopilt [14]



Joonis 9. Sidekiviridade külmasild, foto ja termopilt [14]

Külmasildade kriitilisust hinnati temperatuuriindeksi (f_{Rsi}) kaudu, mis sõltub sise-ja välistemperatuuridest ja sisepinna temperatuurist. Hallituse tekke vältimiseks peaks temperatuuriindeks olema suurem kui 0,8 ($f_{Rsi} > 0,8$). Selgus, et külmasillad olid kriitilised

92% kohtadest. Külmasildade põhjused on eelkõige telliselamute konstruktiivsed iseärasused, kus soojustus on välispiiretes katkestatud (sidekivid).

Katuste olukord on kahe erineva uuringu põhjal sarnaselt puudulik. Algne eterniidist katusekate on tüüpilistel juhtudel vahetatud profiilpleki vastu, kuid mitte kõigil uuritud hoonetel. Läbijooksukohad on põhiliselt läbiviikude läheduses: korstende ümbruses ja katuseluukide juures. Vee sattumine katuse sarikatele ja roovitusele põhjustab puitosa mädanemist.

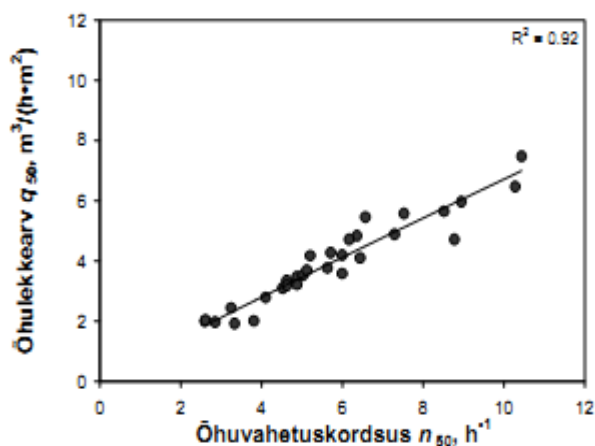
Telliskorterelamute küttesüsteemide peamiseks probleemiks tasakaalustamata süsteemid ja puudulik reguleerimisvõimalus. 65% korterites puudus radiaatorite temperatuuri reguleerimisvõimalus täielikult. Probleemiks on ka pööningutel ja keldrites paiknevate torustike ebapiisav või puuduv soojustus. Kütte- ja tarbevee torustike vahetusega on tegeletud pigem juhuslikult ja hoolikalt läbimõtle mata. Samuti on kanalisatsioonitorustikud paljudel juhtudel defektsed, väljavahetatud on vaid avariilisi osasid, mitte kogu püstikut.

1.4.4. Hoonepiirete õhupidavus

Mõõdetud hoonepiirete õhupidavus on telliselamute uuringus [14] esitatud kahe näitaja kaudu: õhulekkearv q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2)$ ja õhuvahetuskordsus 50 Pa juures n_{50} , h^{-1} . Õhulekkearv näitab lekkiva õhu suurust 50 Pa juures jagatuna piirdetarindite pindalale (korterite vaheseinad ja vahelaed). Mõõtmised toimusid korterite kaupa ja seetõttu sisaldavad tulemused ka korteritevahelisi õhulekkeid. Õhuvahetuskordsus näitab lekkeõhu suurust 50 Pa juures jagatuna korteri sisemise kubatuuriga. Telliskorterelamute ja suurpaneelalamute õhupidavused on samas suurusjärgus (tabel 4).

Tabel 4. Õhupidavuse võrdlus [14]

	Telliskorterelamud		Suurpaneelalamud	
	q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2)$	n_{50} , h^{-1}	q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2)$	n_{50} , h^{-1}
Keskmine suurus	4,0	5,7	4,0	6,0



Joonis 10. Õhulekkearvu ja õhuvahetuskordsuse suhe telliskorterelamute korterites [14].

Kõigi telliskorterelamutes [14] mõõdetud korterite keskmine õhulekkearv $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, õhuvahetuskordsus 50 Pa juures $n_{50} = 5,7 \text{ h}^{-1}$. Õhuvahetuskordsus ei ole õhulekkearvuga võrdne (joonis 10), kuna näitajas sõltuvad vastavalt kubatuurist ja piirdetarindite pindalast.

1.4.5. Korterielanike küsitluse tulemused

Telliskorterelamute uuringu [14] raames läbiviidud korterielanike ankeetküsitlustele saadi vastused 83% küsimustikele. Keskmine elanike arv korteris oli 2,8 ja elamispinda 25 m^2 inimese kohta. Korterites oli elanike sõnul 70% esinenud niiskuskahjustusi. Hallituse teket oli täheldatud 37% korterites. Suurimaks kütte- ja ventilatsiooniprobleemiks oli 60% vastanutest umbne õhk. Siseõhu temperatuuriprobleemidest toodi välja 58% vastanute puhul erinevate temperatuuridega ruumid ja 55% vastanutest ebapiisav siseõhu temperatuuri reguleerimisvõimalus.

2. KORTERELAMUTE E HITUSTEHNILISE SEISUKORRA HINDAMISE JA E HITUSFÜÜSIKALISTE MÕÕTMISTE METOODIKA

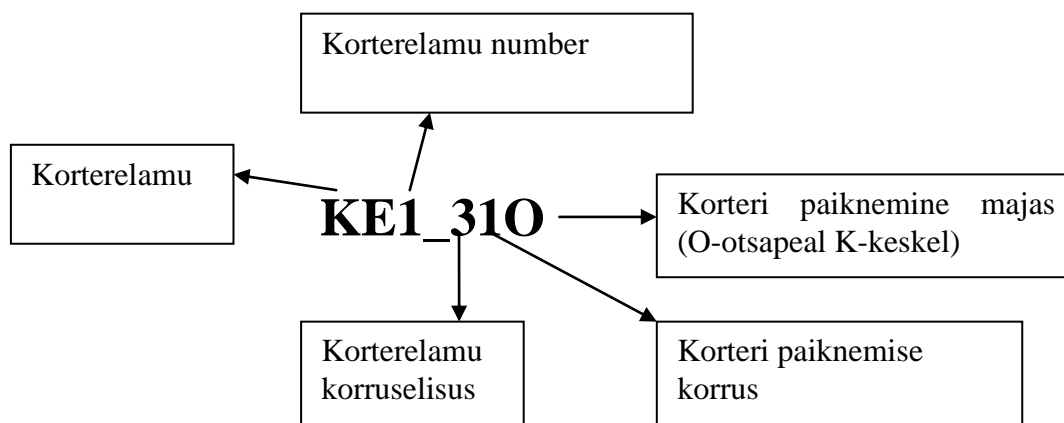
2.1. Uuritavate korterelamute valik ja ülevaade

Uuritavad hooned on valitud Tartus SmartEnCity pilootalasse (joonis 2) kuuluvate korterelamute seast. Valiku esmajärjekorras on hooned, mille korteriühistud on otsustanud liituda antud projektiga ja on alustanud ettevalmistustöid korterelamu renoveerimiseks, kas on olemas või otsitakse tehnilist konsultanti, projekteerijat ja on tehtud linnavalitsusse avaldus linnalt renoveerimistoetuse saamiseks.

Käesolevas uurimuses võrdlusmomendi tekitamiseks valitakse sarnase konstruktsiooni ja ruumilahendusega hooned. Valitud hooned on erineva korruselisusega: kolme-, nelja- ja viiekorruselised, ning erinevatest materjalidest: silikaattellistest või gaasbetoonist suurplokkidest.

Uuringusse kaasatakse seitse korterelamut, mis on ehitatud ajavahemikul 1959-1965 aastal. Nendest hoonetest valiti, koostöös korteriühistute ja seal elavate elanikega, välja kokku 26 korterit, kus saab mõõtmisi läbi viia. Korteri valikul sai määravaks elanikelt uuringus osalemiseks nõusoleku saamine. Uuritavad korterid valiti maja erinevatelt korrustelt ja osadest. Piisava ülevaate kogu korterelamu sisekliima olukorra hindamiseks saab, kui parameetreid mõõdetakse 5-10% korterites kogu korterite arvust. Parimad indikaatorid probleemidest on tavaliselt alumise ja ülemise korruse otsaseintega piirnevad korterid [21].

Tabelis 5 on koondülevaade valitud korterelamutest. Seal on toodud hoonete korruselisus, põhiline välisseina konstruktsioonimaterjal, korterite koguarv ja valitud korterite arv, valmimise aasta ning pindalad (tabeli koostamisel on kasutatud ka ehitusregistri andmeid [22]). Lisas 1 on tabel valitud korteritest, kus on info korterite paiknemise kohta majades ja pindalad. Korterelamud ja korterid on kodeeritud. Koodi seletus on esitatud joonisel 11.



Joonis 11. Hoonete ja korterite kodeeringu seletus

Tabel 5. Uuritavate korterelamute koondülevaade.

Hooned	KE1	KE2	KE3	KE4	KE5	KE6	KE7
Korruste arv	3	3	4	4	4	4	5
Välisseina materjal	Silikaat-tellis	Silikaat-tellis	Silikaat-tellis	Silikaat-tellis	Suur-plokk	Suur-plokk	Silikaat-tellis
Korterite arv	24	24	31	32	44	32	60
Uuritavate korterite arv	3	3	4	4	4	3	5
Hoone valmimise aasta	1960	1959	1962	1962	1962	1965	1963
Ehitusalune pindala [m ²]	388	396	385	383	534	454	670
Eluruumide pindala [m ²]	815,3	828,3	1125,8	1118,2	1478,5	1334,5	2530,4
Maht [m ³]	4061	4777	4910	4885	8000	6427	11145

Uuritavate hoonete valik tehti SmartEnCity projektis osalevate korterelamute seast. Põhimõttel, et oleks kolme- nelja- ja viie korrusega hooneid ja neist nii tellis- kui ka suurplokist hooneid. Lõpliku valiku kinnitas uuringus osalemiseks nõusoleku saamine korteriühistutelt.

2.2. Ehitise tehnilise seisukorra hinnang

Hoonetele ja uuritavatele korteritele antakse tehnilise seisukorra hinnang visuaalse vaatlus teel, hinnates numbriliselt kõik ehituskonstruksioone ja seal asuvaid tehnilisi süsteeme. Hinnangu andmisel kasutatakse tabelit (lisa 2), kus on toodud kõik hinnatavad osad. Metoodika [23] on välja töötatud Tõnu Keskküla poolt Eesti Maaülikoolis, 30 aasta

jooksul tehtud uuringute põhjal. Konstruktsioonide kulumine jagatakse numbriliselt nelja klassi, kus 0 tähistab avariilist süsteemi ja 3 täiesti korras konstruktsiooni hinnete selgitused on toodud tabelis 6.

Tabel 6. Hoonete hinnete kirjeldused [24]

Hinne	Olukorra kirjeldus
3	Heas seisundis, täiesti korras
2	Osaliselt kulunud
1	Märgatavalt kulunud, kohati avariieelne
0	Täielikult kulunud, avariiotlik

Hoone, kui terviku, keskmise hinde arvutamiseks kasutatakse valemeid 2.1.; 2.2.; 2.3. ja 2.4. [23]:

$$H=[HP+H_{Te}/25+HT/5]/1,24, \quad (2.1.)$$

kus H - kogu hoone keskmine hinne;
 HP - põhiliste ehituslike süsteemide keskmine hinne, mis leitakse valemiga 2.2.;
 H_{Te} - teiste ehituslike süsteemide hinne, mis leitakse valemiga 2.3.;
 HT - tehniliste süsteemide keskmine hinne, mis leitakse valemiga 2.4.;
 1,24 on kaalude summa.

$$HP=(HV+HS+HV_a+HK)/4, \quad (2.2.)$$

kus HV - vundamentide keskmine hinne;
 HS - seinte keskmine hinne;
 HV_a - vahelagede keskmine hinne;
 HK - katuse keskmine hinne.

$$H_{Te}=(H_{UA}+HR)/2, \quad (2.3.)$$

kus H_{UA} - uste ja akende keskmine hinne;
 HR - ühiskondlike ruumide keskmine hinne.

$$HT = (HKU + HV + HKA + HE)/4 , \quad (2.4.)$$



kus *HKU* - küttesüsteemide keskmine hinne;
HV - veevarustuse keskmine hinne;
HKA - kanalisatsioonisüsteemide keskmine hinne;
HE - elektrisüsteemide keskmine hinne.

Antud hindamissüsteemi [23] puhul on kõige suurema kaaluga hoone põhilised kandekonstruktsioonid ja konstruktiivsed osad - vundamendid, seinad, vahelaed ja katus, neid osi arvestatakse kõige rohkem, kuna need on otseselt seotud hoone töövõimega. Teiste ehituslike süsteemide osakaal on 25 korda väiksem ja tehniliste süsteemide osakaal 5 korda väiksem, põhilistest konstruktsiooniosadest. Osakaalud on leitud varasemate uurimisandmete põhjal.

2.3. Termograafia

Termopildistamisel tuginetakse standardile EVS-EN 13187:2001 [25]. Standardi järgi määratakse hoone termograafia ehk infrapuna kaameraga hoone pildistamise käigus pinnatemperatuuride erinevused, mille kaudu on võimalik tuvastada defektid soojustuses, seinad ja/või soojustusmaterjali niiskumine ning õhulekkekohad. Termograafia eesmärgiks on hoonete probleemsete kohtade ja sellel meetodil määratavate defektid tuvastamine ja kaardistamine, leidmaks erinevate hoonete sarnaste probleemide esinemine ja ulatus. Termopiltidest parema ülevaate saamiseks vaadeldakse neid koos hoone konstruktiivsete joonistega. Samas tehakse termopildiga samast kohast ka tavaline foto. Välispidisel termopildistamisel kasutatud termokaamera Flir B50 ja hoone sisesel termopildistamisel kasutatud termokaamera Flir B2 mõõtevahemikud ja -täpsus on esitatud tabelis 7.

Tabel 7. Termokaamerate mõõtevahemik ja mõõtetäpsus [26] [27]

Termokaamera	Mõõtevahemik	Mõõtetäpsus
Flir B50 	-20°C kuni +120°C	±2°C (±2% lugemitest)
Flir B2 	-20°C kuni +100°C	±2°C (±2% lugemitest)

Käesolevas uuringus viiakse termograafia läbi kahes etapis:

- 1) välisseinte termografeerimine
- 2) korterite sisene termografeerimine.

Sisemine termograafia toimub piirete õhutiheduse määramise testiga paralleelselt, kõigepealt enne nõ. passiivses olukorras, kus määratakse külmasillad korteri tavaolukorras. Teine pildistamine toimub olukorras, kui korteris on vähemalt 10 minuti jooksul hoitud sees 50 Pa suurust alarõhku. Kui konstruktsioonis on õhulekkekohad, siis teistkordsel pildistamisel on pinnatemperatuurid alanenud [28]

Külmasildade kriitilisuse hindamiseks kasutatakse temperatuuriindeksit (f_{Rsi}), mis sõltub sisepinna temperatuurist, siseõhu temperatuurist ja välisõhu temperatuurist. Temperatuuriindeksi arvutamiseks kasutatakse valemit 2.5. [29].

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e}, \quad (2.5.)$$

kus: f_{Rsi} - temperatuuriindeks, -;
 t_{si} - sisepinnatemperatuur, °C;
 t_i - siseõhu temperatuur, °C;
 t_e - välisõhu temperatuur, °C.

Eestis on temperatuuriindeksite piirsuurused (tabel 8) hallituse kasvu ja veeauru kondenseerumise vältimiseks arvutatud lähtudes niiskuskooormusest [30].

Tabel 8. Temperatuuriindeksite väärtused Eestis [30]

Niiskuskooormus		f_{Rsi} piirsuurus	
		hallituse vältimine	kondenseerumise vältimine
Niiskuslisa	talvel +6 g/m ³	0,8	0,7
	suvel + 2,5 g/m ³		
Niiskuslisa	talvel +4 g/m ³	0,65	0,55
	suvel +1,5 g/m ³		


Niiskuslisa väärtus talvel +6g/m³ ja suvel +2,5 g/m³ vastab suure asustustihedusega ja halva ventilatsiooniga hoonete niiskuskooormusele. Niiskuslisa talvel +4 g/m³ ja suvel +1,5 g/m³ on niiskuskooormus väikese asustustihedusega ja hea ventilatsiooniga hoonetes.

2.4. Sisekliima parameetrid

2.4.1. Temperatuur ja suhteline õhuniiskus

Korterite siseõhu temperatuuri (T) ja suhtelise õhuniiskuse (RH) mõõtmiseks ja salvestamiseks kasutatakse Hobo U12-011 andmesalvestajaid, mille parameetrid on toodud tabelis 9.

Tabel 9. Andmesalvestaja parameetrid [31]

Hobo U12-011	Mõõtevahemik	Mõõtetäpsus
	T: -20°C kuni +70°C	T: ±0,35°C (vahemikus 0°C kuni 50°C)
	RH: 5% kuni 95%	RH: ±2,5% (vahemikus 10% kuni 90%)

Parameetreid mõõdetakse ühe anduriga igas korteris. Andur paigutatakse magamistuppa mööblieseme külge 1,2-1,5 meetri kõrgusele [14]. Andurid peavad olema eemal otsestest

soojusallikatest nagu valgustid ja radiaatorid ning kohas, kuhu ei paista peale otsest päikeseikiirgust [21]. Mõõtmistulemused salvestatakse 30 minutilise intervalliga vähemalt ühe kuu jooksul.

Arvutusteks vajalike väliskliima andmetena kasutatakse Tartu Ülikooli füüsika instituudi keskkonnafüüsika labori E-ilmajaama andmeid [32].

Niiskuskulisa arvutamiseks kasutatakse siseõhu- ja välisõhu veeaurusisalduse vahet, mis arvutatakse valemiga 2.6. [29].

$$\Delta v = v_i - v_e, \quad (2.6.)$$

kus: Δv -niiskuskulisa, g/m³;
 v_i -siseõhu veeaurusisaldus, g/m³;
 v_e -välisõhu veeaurusisaldus, g/m³.

Kui välisõhu ja siseõhu temperatuurid on teada, arvutatakse olenevalt õhutemperatuurist valemiga 2.7. ($t \geq 0^\circ\text{C}$) või 2.8. ($t < 0^\circ\text{C}$) veeauru küllastusrõhu p_{sat} , Pa [29].

$$p_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot t}{237,3+t}}, \text{ Pa, kui } t \geq 0^\circ\text{C} \quad (2.7.)$$

$$p_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot t}{265,5+t}}, \text{ Pa, kui } t < 0^\circ\text{C}, \quad (2.8.)$$

kus: t -õhu temperatuur, $^\circ\text{C}$.

Veeauru küllastussisalduse õhus v_{sat} , kg/m³ arvutamiseks kasutatakse valemit 2.9. [33]

$$v_{\text{sat}} = \frac{M_w \cdot p_{\text{sat}}}{R \cdot T}, \text{ kg/m}^3, \quad (2.9.)$$

kus: T -õhu temperatuur, K ($273,15+t$);

M_w -vee molaarmass: 18,015 kg/kmol;

R -universaalne gaasikontant 8314,41 J/(kmol·K).

Siseõhu- ja välisõhu suhteline õhuniiskus on vastavalt mõõdetud ja andmearhiivist saadud ning arvutatakse siseõhu- ja välisõhu veeaurusisaldus, kasutades valemit 2.10. [33]

$$RH = \frac{v}{v_{sat}} \cdot 100\%, \quad (2.10.)$$

kus: RH -suhteline õhuniiskus, %;

v -veeaurusisaldus õhus, g/m³;

v_{sat} -veeauru küllastussisaldus õhus, g/m³.

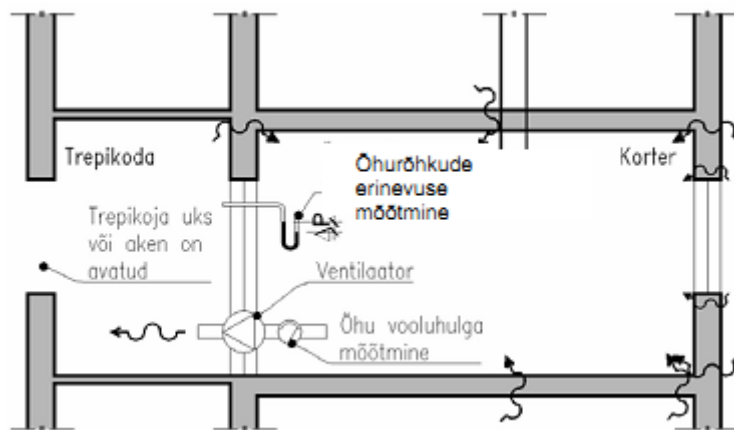
2.5. Piirete õhupidavus

Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmisel tuginetakse standardile EVS-EN 13829:2001 [34]. Ventilaatoriga survestamise meetodil on võimalik määratleda õhulekkekohad ja tulemustes võrrelda sarnaste hooneosade (korterite) õhutihedust. Mõõdetakse läbi piirdetarindite korterisse ja sealt välja liikuvaid õhuvooluhulkasid. Mõõtmiseks kasutatakse *Blower Door* mõõteaparatuuri, mille andmed on toodud tabelis 10.

Tabel 10. Õhupidavuse mõõtevahendite andmed [35]

Aparatuuri osa	Nimetus	Mõõtevahemik
Ventilaator	Blower Door Model 3	5 l/s kuni 2973 l/s
Mõõtur	DG-700	-1250Pa kuni 1250Pa
Raam	Reguleeritav alumiiniumraam	Laius: 71cm kuni 101cm Kõrgus: 132cm kuni 244cm
Tarkvara	TECTITE	

Mõõtmine toimub ühe korteri kaupa, kus välisukse avasse paigaldatakse mõõteaparatuur. See koosneb õhutihedast kangast, muudetava suurusega raamist, mis sobitub ukseavasse, ventilaatorist ning juhtimis- ja mõõteseadmetest [36]. Mõõtepõhimõtet illustreerib joonis 12.



Joonis 12. Korterite õhupidavuse mõõtmiste põhimõtteline skeem [36]

Väliskeskkonna õhurõhk mõõdeti võimalusel õuest, avatud trepikoja akna kaudu. Kui trepikojas avatav aken puudus, siis mõõdeti väline õhurõhk trepikojast.

Korterite õhupidavuse mõõtmiseks suletakse välispiiretes olevad reguleeritavad avad nagu aknad ja ukse, teibitakse või suletakse kummipalliga värskeõhu klapiid ning ventilatsiooniavad. Samuti suletakse torustike veekraanid ja kontrollitakse, et haisulukkudes oleks vesi [34]. Vannitubades, kus ei õnnestunud eelnimetatud meetmetega õhutihedust tagada, teibiti vannitoa ukse pilud ja avad väljastpoolt kinni.

Mõõtmisaparatuuri ventilaatoriga tekitatakse rõhuerinevused sisekeskkonna ja väliskeskkonna vahel. Protsessi käigus mõõdetakse õhuvooluhulka, mis on vajalik keskkondade vahelise rõhuerinevuste hoidmiseks. Lekkivat õhuhulka mõõdetakse ala- ja ülerõhu tingimustes, erinevat rõhutasete juures -60 Pa kuni -10Pa (alarõhk) ja 10Pa kuni 60 Pa (ülerõhk) sammuga 10 Pa. Enne ja pärast õhulekete mõõtmist fikseeritakse sise- ja väliskeskkonna vaheline loomulik õhurõhkude erinevus ning temperatuurid, mille alusel saab mõõtetulemust parandada [36].

2.6. Korterialanike küsitlus

Uuritavate korterite elanike seas viiakse läbi ankeetküsitlus, et teha kindlaks elanike hoiakud ja saada ülevaade harjumustest ning korteri tehnilisest seisukorrast. Küsitlusel on kasutatud varasemate kortermajade uuringute ankeeti. Küsimused käsitlevad peamiselt nelja kategooriat [14].

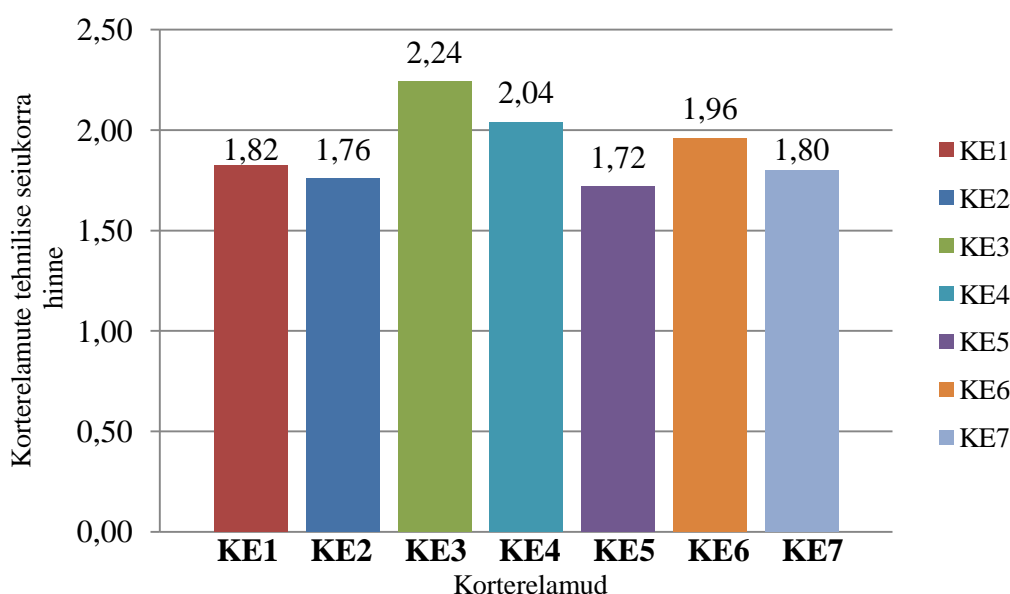
- 1) ruumide kasutust;
- 2) korteri ehitustehnilist seisukorda;
- 3) korteris esinenud kahjustusi ja ruumide remonti;
- 4) elanike rahulolu sisekliimaga.

3. HINDAMISTE JA MÕÕTMISTE TULEMUSED

3.1. Hoonete ehitustehnilise seisukorra hinnang

3.1.1. Üldine seisukorra hinnang

Uuritud korterelamute üldseisukord on rahuldav. Uuritud hoonete kõigi ehituslike süsteemide üksikud hinded on toodud lisas 2. Hinnatud hoonete keskmised ehitustehnilise seisukorra hinded on toodud joonisel 13.



Joonis 13. Korterelamute tehnilise seisukorra hinded.

Kõigi uuritud korterelamute keskmistest hinnetest (joonis 13) on näha, et kõige madalam hinne 1,72 kujunes KE5-le, kuna sellel hoonel on vundamendil suured niiskusprobleemid ja vananenud tehnosüsteemid. Kõige kõrgem hinne 2,24 on KE3-l, kus on vahetatud katusekate ja puistevillaga soojustatud pööning. Kõrgema hinde kujunemist soodustab ka täielikult renoveeritud küttesüsteem ning kuni korteriteni (keldris ja koridorides) uuendatud elektrisüsteem. Kõigi hinnatud seitsme hoone keskmine tehnilise seisukorra hinne skaalal 0 kuni 3 on 1,91.

3.1.2. Vundamentide ja soklite olukord

Enamusel uuritud hoonetest on valdavalt paekivist lintvundament (KE1 osaliselt punasest tellisest). Väljaarvatud KE6, kus on kasutatud raudbetoonist vundamendiplokke. Kuna ühelgi neist hoonetest ei ole teadaolevalt vundamendile hüdroisolatsiooni paigaldatud esineb keldrites niiskusprobleeme: vundamendi märgumine (joonis 14) ja hallitust. Niiskus satub keldritesse ka läbi põrandate, mille betoonosa on pragunenud. Kohati on keldrites ka muldpõrand (joonis 14).



Joonis 14. KE5 märgunud vundamendiosa ja keldri muldpõrand

Sokliosaga on vundament kõigil seitsmel hoonel silikaattellistest müüritis, mis on väljastpoolt krohvitud. Sokliosas olevad ventilatsiooniavad on tihti suletud riidekaltsudega või kinni müüritud. See takistab keldritest niiskuse väljatuulustumist.

3.1.3. Vahelagede ja ühiskondlike ruumide olukord

Keldrilagesid on vaadeldud hoonetel kolme tüüpi. Kahel juhul (KE1 ja KE2) on tegemist monoliitse raudbetoonvahelaega, neljal elamul (KE3, KE4, KE6 ja KE7) on ribipaneelidest vahelaed ja KE5-l on õõnespaneelidest vahelagi. Üldine vahelagede seisukord on hea. Defektideks on praod (joonis 15 a), mõningased niiskuskahjustused ja paljandunud armatuur. Õõnespaneelidest vahelaes on ühes kohas tekkinud ulatuslik purunemine (joonis 15 b). Kolme korterelamu keldrites on esinenud tulekahjusid, mille tagajärjel on näha tahmunud laekonstruktsioone ja söestunud keldribokside puidust vaheseinasid.

a)



b)



Joonis 15. Hoone KE2 monoliitsest raudbetoonist pragudega vahelagi (a) ja hoone KE5 õõnespaneeli kahjustus ja tahmunud laepind (b)

a)



b)



Joonis 16. KE6 ribipaneeli niiskuskahjustused (a), KE7 keldrilae niiskuskahjustus ja torude läbiviimisest tekkinud nähtav armatuur (b)

Niiskuskahjustuse (joonis 16 a ja b) on ilmselt põhjustanud esimese korruse korteris lekkinud torustik. Armatuur on arvestades lagede kogumahtu nähtav üksikutes kohtades ja vähesel määral (joonis 16 b).

Ühiskondlike ruumide olukord on hea, kõigis hoonetes on trepikodasid vähemalt või rohkemal määral renoveeritud, kuid vajaksid siiski sanitaarremonti. Peamised puudused on trepiastmete osaline kulumine (joonis 17 a) ja mõningad praod trepikodade seintes, akende nurkade juures (joonis 17 b).

a)



b)



Joonis 17. KE3 trepiastmete kulumine (a), KE5 praod trepikodade seintes (b)



Joonis 18. KE6 trepikoja lae värvikahjustus

a)



b)



Joonis 19. KE1 trepikoja ja pööningu vahelae kahjustus (a), KE7 trepikoja veeavariist tingitud kahjustus (b)

Mõnes trepikojas kobrutab seinte ja lagede värv (joonis 18). See on tingitud kokkusobimatute viimistlusmaterjalide (vana alusvärv ja uus värvikiht) kasutamisest või pööningulaest läbi tulnud niiskusest (joonis 19 a). KE7-s oli toimunud veetorude püstikus avarii ja selle tagajärjel trepikoja seina märgumine (joonis 19 b).

3.1.4. Välisseinte olukord

Uuritud telliskorterelamute välisseinte, visuaalsel vaatlusel tuvastatud, põhilised probleemid on: praod fassaadikivides ja vuukides, seinapinna märgumine ning purunenud ja vajunud ridasillused (joonis 20 a). Pragude tekkepõhjuseid võib olla mitmeid, näiteks vee sattumine fassaadile ja seejärel külmumine. Vahelduvast temperatuurist ja niiskusest tekkiv kivide liikumine põhjustab ka krohvitud tellisfassaadile defekte (joonis 20 b). Pragude enamlevinud tekkekohad on akende alumistest nurkadest, kuhu satub puuduvate või vigaste aknaplekkide tõttu vesi. Pragude ulatus on mõnekümnest sentimeetrist kuni

kogu hoone kõrguseni. KE7 puhul on hoone otsaseina ja pikiseina liitumiskohas pragu praktiliselt terve hoone kõrguse ulatuses. Selle põhjuseks on otsaseintes kasutatud savitelliste ja pikiseinte silikaattelliste erinev reageerimine külmumisele. Samal põhjuselt võivad puruneda ka silikaattellistest kandeseina ja fassaadikihi sidekivid.



Joonis 20. Pragu seinas, niiskunud aknaalune ja vajunud keldriakna sillus (a), krohvitud tellisfassaadi kahjustused (b)

Uuritud suurplokkidest korterelamute välisseinte defektid on praod plokkide vahel (joonis 21 a), krohvikahjustused ja värvikahjustused (joonis 21 b) . Krohvikahjustused on tingitud puudevatest või valest paigaldatud aknaplekkidest. Pragude peamised levikukohad on akende vaheliste plokkide ühenduskohtades.

a)



b)



Joonis 21. Praod aknaaluses suur plokis (a), krohvi ja värvikahjustused suurplokkidest seinal (b)

3.1.5. Avatäidete olukord

Kõikide vaadeldud hoonete eluruumide akendest ca. 85% on vahetatud valdavalt plastikraamidega pakettakende vastu. Üldkasutatavate ruumide (keldrid ja trepikojad) aknad on kõikidel hoonetel vahetatud pakettakende vastu. Välisüksed on enamjaolt viimase 15 aasta jooksul asendatud uute metallustega.

3.1.6. Katuste ja pööningute olukord

Kõigil uuritud hoonetel on viilkatus. Katusekate on kuuel hoonel seitsmest profiilplekk, mis on paigaldatud viimase 15 aasta jooksul. Aluskatet on kasutatud kahe hoone katusekonstruktsioonides. Ühel korterelamul on 2000. aastal paigaldatud eterniitplaatidest katusekate. Peamised probleemid katusekonstruktsioonide juures on niiskuskahjustustega sarikad ja roovitus (joonis 22). See on tingitud ebakvaliteetsest katusekatte paigaldusest, kus läbiviikude juurest ja katusekatte vahedest tungivad sademed puitosani (joonis 23 b). Samuti kahjustab puitkonstruktsioone aluskatteta katusepleki sisepinnale tekkiv kondensaat. Varasemalt kahjustunud sarikaid ja roove on asendatud uutega (joonis 23 a). Eterniitkatuse puhul on plaatidesse aja jooksul tekkinud praod ja sademed kahjustavad kandekonstruktsiooni (joonis 24 a) ning pööningu põrandat. Kahel hoonel on pööningu vahelaele paigaldatud ca.30 cm paksune puistevillast soojustus. Kuigi laudadest käiguteed on ehitatud, esineb siiski villale tallatud käiguteid ja villa ebaühtlast kihipaksust (joonis 24 b).



Joonis 22. Niiskuskahjustustega katusesarikad ja roovitus

a)



b)



Joonis 23. Uus sarikas vana kõrval (a), lumi konstruktsioonil (b)

a)



b)

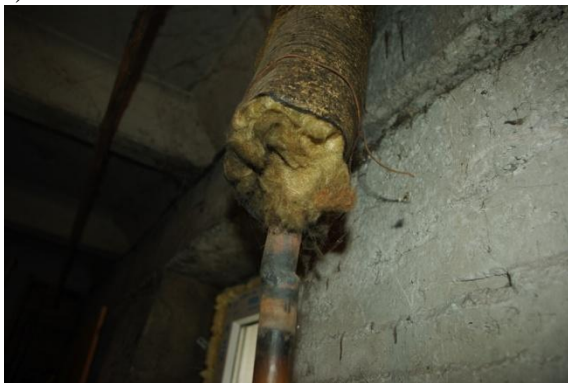


Joonis 24. Eterniitkatuse parandused montaaživahuga ja niiskuskahjustusega sarikas (a), ebaühtlane ja tallatud puistevillakiht (b)

3.1.7. Tehnosüsteemide olukord

Kõigis uuritud korterelamutes on kaugküttel põhinev küttesüsteem. Ühetorusüsteem on kolmes (KE1, KE5 ja KE6) ja kahetoru süsteem neljas korterelamus. Ühetorusüsteemi puhul radiaatorite reguleerimisvõimalus puudub või osaliselt on reguleeritav tavaliste kraanidega. Sellise kütelahenduse probleemiks on soojuskandja pikk ringlus süsteemis ja radiaatorite ning sellest tulenevalt ruumide ebaühtlane temperatuur. Kahetorusüsteemiga korterelamutes on vanad malmradiaatorid asendatud plekkradiaatoritega ning temperatuur on reguleeritav radiaatoritel asuvate termostaatidega. Küttesüsteemide torustikel esineb puudulikku soojusisolatsiooni keldrites ja pööningul (joonis 25 a), rekonstrueeritud torustikud on korrektselt isoleeritud (joonis 25 b).

a)



b)



Joonis 25. Puudulik küttetorustiku soojustus (a), korrektne küttetorustiku soojustus (b).

Hoonetes on loomulik ventilatsioon korstende ja ventilatsiooniavade kaudu. Vähestes korterites on pesuruumidesse paigaldatud ventilatsiooniavale väljatõmbeventilaator. Uuritud korteritest ligikaudu 60% on köögis mehaaniline väljatõmme köögikubu kaudu. Kubude ühendused ventilatsioonilõõridega on ebatihedad.

Vee- ja kanalisatsioonisüsteemid on vananenud. Remonditud on osaliselt - vahetatud avarii tõttu osad püstikud. Elektrisüsteemid on valdavalt trepikodades ja keldrites uuendatud, kuid kahes majas on üldkasutatavates ruumides ehitusaegsed kaablid.

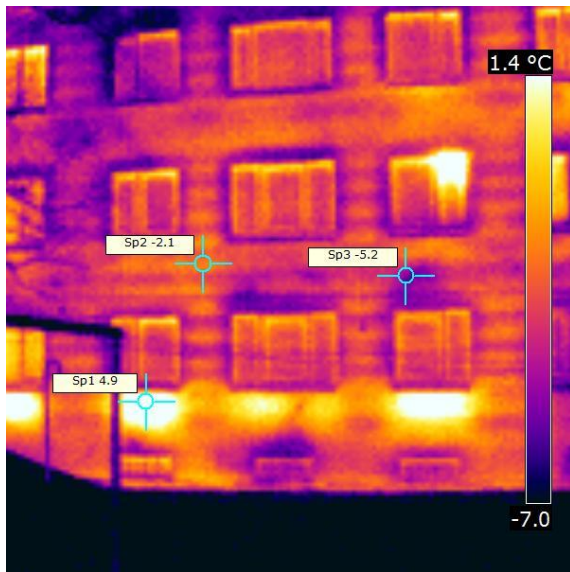
3.2. Termografeerimise tulemused

3.2.1. Korterelamute väline termografeerimine

Esmasel termografeerimisel tehti kõigist uuritavatest hoonetest (7 hoonet) fotod nii termokaameraga kui ka tavakaameraga. Väljast termografeerimine võimaldab näha külmasildasid ja nende paiknemist ning ulatust, samuti defekte soojustuses kogu hoone fassaadil. Väljast tehtud termopiltidel on kollaste toonidega eristatavad suurema soojusjuhtivusega piirkonnad [14]. Termopildi äärel on temperatuuriskaala, mis näitab milline värvus mis temperatuuri iseloomustab. Tähised Sp näitavad antud punkti pinnatemperatuuri. Termopiltide töötlemiseks kasutati programmi Flir QuickReport 1.2 SP2.



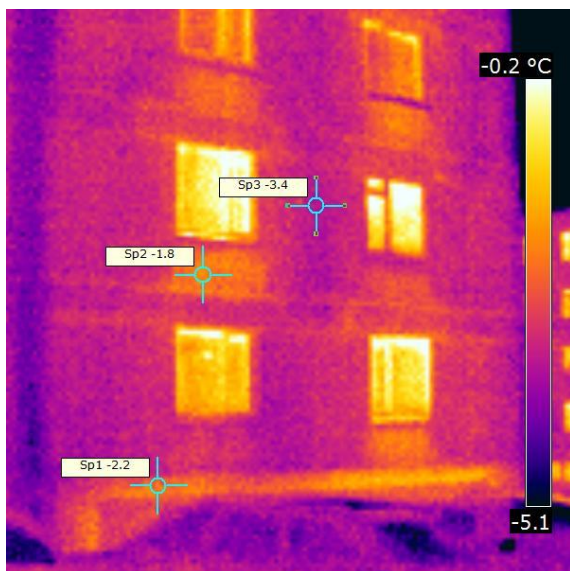
Joonis 26. Tellishoone välisseina sidekiviread ja aknaalused soojuslekked.



Joonis 27. Telliselamu aknaalused soojuslekkekohad

Väljatoodud termopildid on probleemsetest kohtadest, mis esinesid sarnaselt mitme vaadeldud hoone puhul. Telliselamutel tuvastatud põhilised probleemid on: konstruktiivsed külmasillad, mis on tingitud soojustuse katkemisest sidekiviridade kohal (joonis 26). Soojalekked akende aluses piirkonnas, see probleem on tingitud niiskunud kividest ja võimalikust soojustuse äravajumisest. Aknaalused piirkonnad on eriti probleemsed just esimestel korrustel (joonis 27).

Suurplokkidest korterelamu termografeerimisel ilmnenu soojalekkekohad on plokkide vahed, akende alused ja sokli piirkond (joonis 28). Sarnased probleemid esinesid nii otsa- kui pikiseintes (joonis 29).



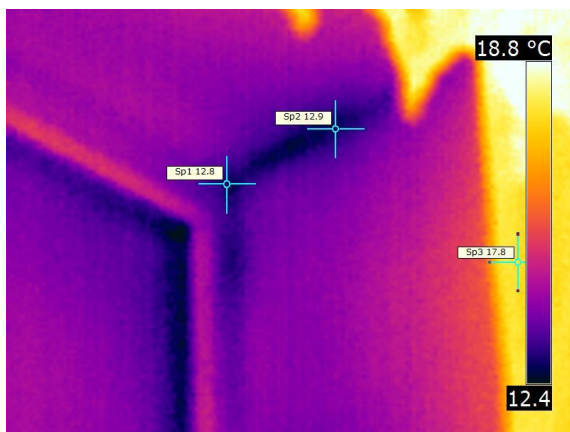
Joonis 28. Suurplokkidest korterelamu otsaseina termopilt.



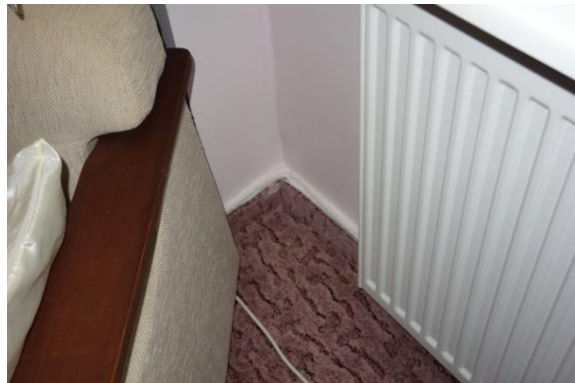
Joonis 29. Suurplokkidest korterelamu pikiseina termopilt.

3.2.2. Korterite sisemine termografeerimine ja külmasildade kriitilisus

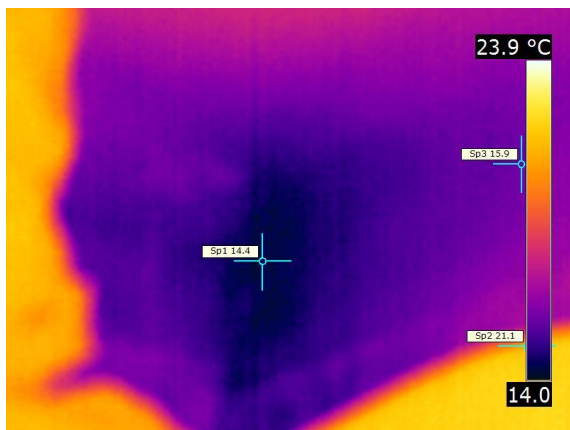
Kõikides korterites (26 korterit) tuvastati termografeerimisega enne alarõhu (passiivses olukorras) ja peale alarõhku (aktiivses olukorras) soojuslekkekohtad. Korterite sisemisel termopildistamisel tuvastatud põhilised soojuslekkekohtad ja külmasillad on akende ümbruses (joonis 30), põranda ja seina nurk radiaator seinaorvas (joonis 31) ning välisseina liitekoht vahelaega (joonis 32).



Joonis 30. Akna ümbruse soojaleke, pinnatemperatuurid $Sp1=12,8^{\circ}\text{C}$, $Sp2=12,9^{\circ}\text{C}$, $Sp3=17,8^{\circ}\text{C}$



Joonis 31. Põranda ja seina liitekohta külmasild, pinnatemperatuurid $Sp1=13,7^{\circ}\text{C}$, $Sp2=16,6^{\circ}\text{C}$, $Sp3=15,6^{\circ}\text{C}$, $Sp4=20,0^{\circ}\text{C}$



Joonis 32. Välisseina ja vahelae liitekohta külmasild, pinnatemperatuurid $Sp1=14,4^{\circ}\text{C}$, $Sp2=21,1^{\circ}\text{C}$, $Sp3=15,9^{\circ}\text{C}$

Külmasildade kriitilisuse hindamiseks kasutatud temperatuuriindeks arvutuseks (valem 2) on pinnatemperatuurid saadud termofotodelt. Ruumi sisetemperatuur andmesalvestajatega kogutud andmetest ja välistemperatuur Tartu Ülikooli füüsikainstituudi keskkonnanafüüsika labori E-ilmajaama andmearhiivist.

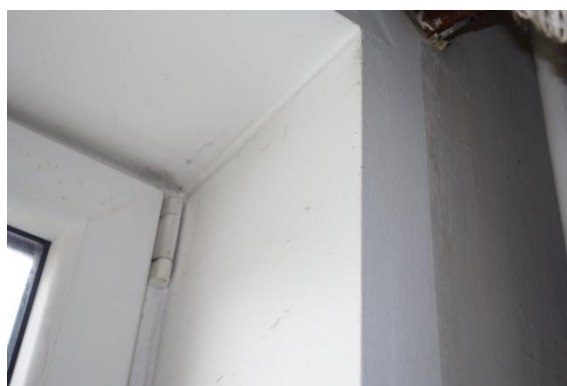
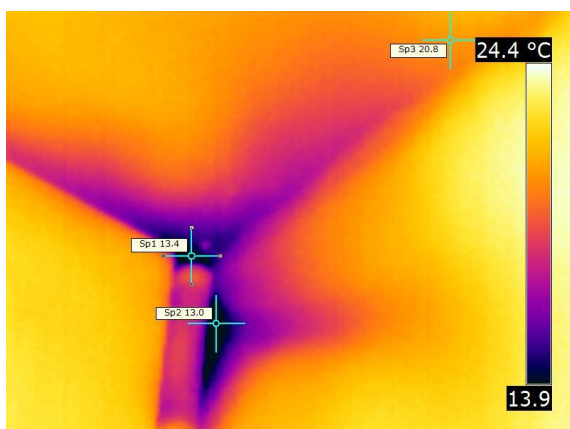
Temperatuuriindeksite arvutustulemused joonistel 30, 31 ja 32 esitatud külmasildade kohta on tabelis 11.

Tabel 11. Temperatuuriindeksite arvutustulemused

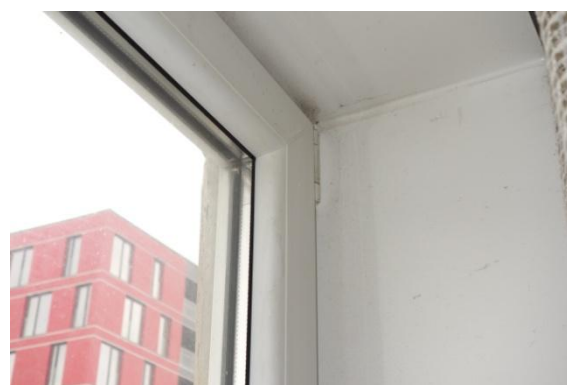
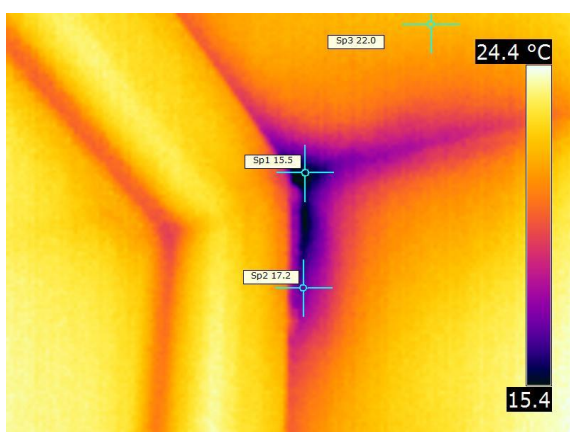
Joonis	Sisetemperatuur t_e [°C]	Välisemperatuur t_i [°C]	Pinnatemperatuur $S_p = t_{si}$ [°C]	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
Joonis 30	19,9	6,9	$S_{p1}=12,8$	0,45
			$S_{p2}=12,9$	0,46
			$S_{p3}=17,8$	0,83
Joonis 31	21,5	-3,2	$S_{p1}=13,7$	0,68
			$S_{p2}=16,6$	0,8
			$S_{p3}=15,6$	0,76
			$S_{p4}=20,0$	0,93
Joonis 32	19,9	-0,8	$S_{p1}=14,4$	0,73
			$S_{p2}=21,1$	1,05
			$S_{p3}=15,9$	0,8

Temperatuuriindeksite põhjal saab järeldada, et antud hoonepiirde defektsetes kohtades on nii hallituse kui kondensaadi tekkeoht suur.

Piirete õhulekkekohtade tuvastamiseks alarõhu tingimustes tehtud termopildil (joonis 33) on näha, et võrreldes tavaolukorra termopildiga (joonis 34) on pinnatemperatuurid muutunud madalamaks.



Joonis 33. Aknanurga termopilt alarõhu tingimustes

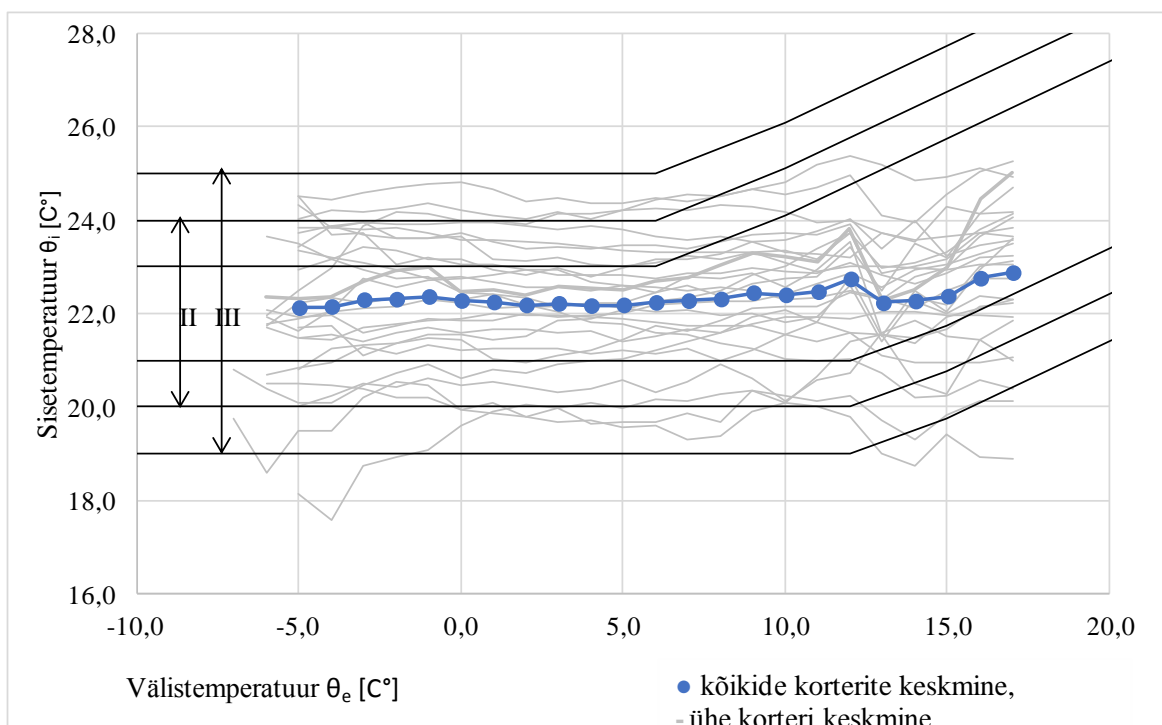


Joonis 34. Aknanurga termopilt tavaolukorras

Pinnatemperatuuride erinevus tavaolukorras ja alarõhu tingimustes on samas aknanurgas $\sim 2^{\circ}\text{C}$. Väliskeskkonnast külma õhu korterisse tungimine mõjutab eelkõige mugavustunnet, sest tekib tõmbus. Seda kompenseeritakse tavaliselt sisetemperatuuri tõstmisega. Juhul kui välissein jahtub niipalju, et jõuab kastepunktist madalamale, kondenseerub niiskus välispiirdesse ja suurendab hallituse tekkeriski [28].

3.3. Korterite temperatuur ja suhteline õhuniiskus

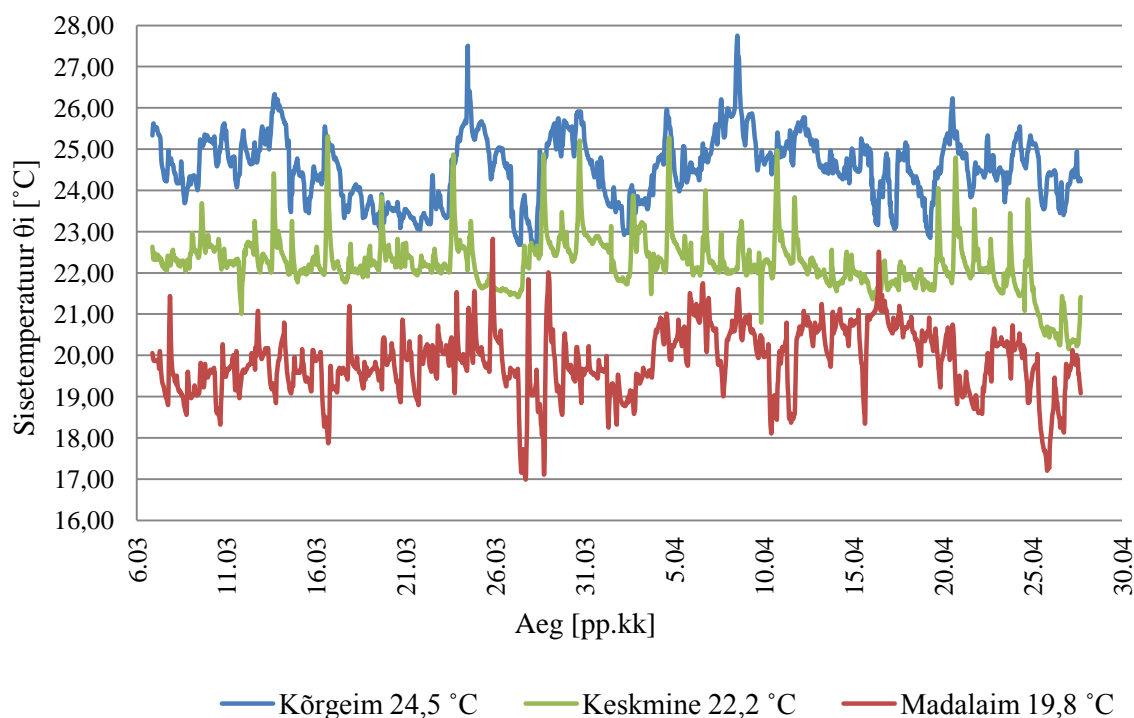
Uuritavates korterelamutes toimus andmesalvestajatega temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse salvestamine ajavahemikus 21.02.2017 kuni 29.04.2017. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati keskmine sisetemperatuur, mis esindab konkreetse korteri sisetemperatuuri. Kõigi mõõdetud korterite keskmiste sise- ja välistemperatuuride seosed on toodud joonisel 35.



Joonis 35. Kõigi uuritud korterite sisetemperatuuri seosed välistemperatuuriga

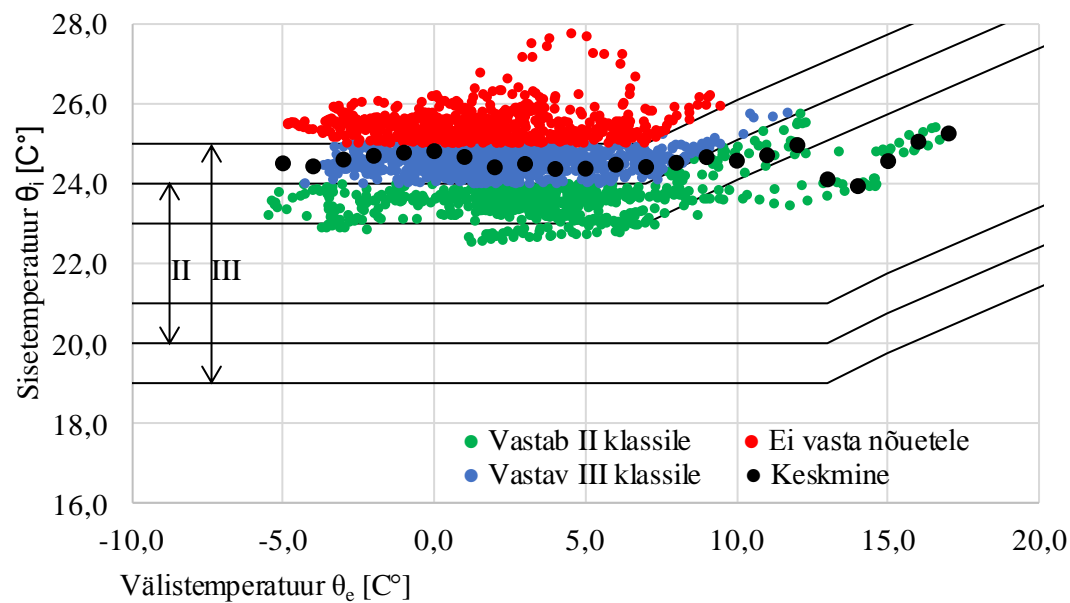
Mõõtmiste ajal oli hoonetes kütteperiood, keskmine temperatuur perioodil oli $+22,2^{\circ}\text{C}$. Sisetemperatuuride kõikumine oli vahemikus $+13,2^{\circ}\text{C}$ kuni $+28,9^{\circ}\text{C}$. Maksimaalne keskmine temperatuur oli $+24,5^{\circ}\text{C}$ ja minimaalne keskmine temperatuur $+19,7^{\circ}\text{C}$.

Keskmise-, kõrgeima-, ja madalaima keskmise temperatuuriga korterite temperatuurimuutuste graafik ajas on joonisel 36. Elaniku jaoks mugav temperatuur on väga personaalne, kuid on näha et temperatuuri kõikumine on kõigis kolmes korteris olnud suur.



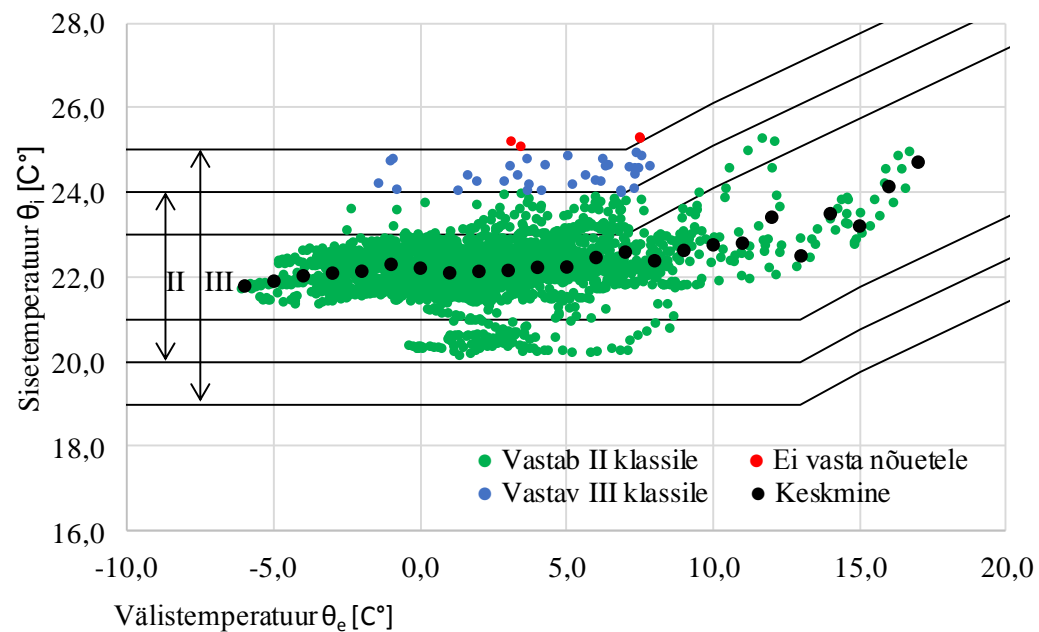
Joonis 36. Kõrgeima- keskmise- ja madalaima keskmise temperatuuriga kolme korteri temperatuuride muutus ajas.

Sisetemperatuuride mõõtetulemuste põhjal hinnati korterites olevat soojuslikku olukorda standardis esitatud sisekliima II ja III klassi piirsuurustega (tabel 2). Korterites varieerus vastavus standardis soovitatud piirsuurustele. Joonisel 37 on ülekõetud korteri temperatuuride vastavus standardile, joonisel 38 on hästi standardile vastav korter ja joonisel 39 alakõetud korteri vastavus standardi sihtarvudele.



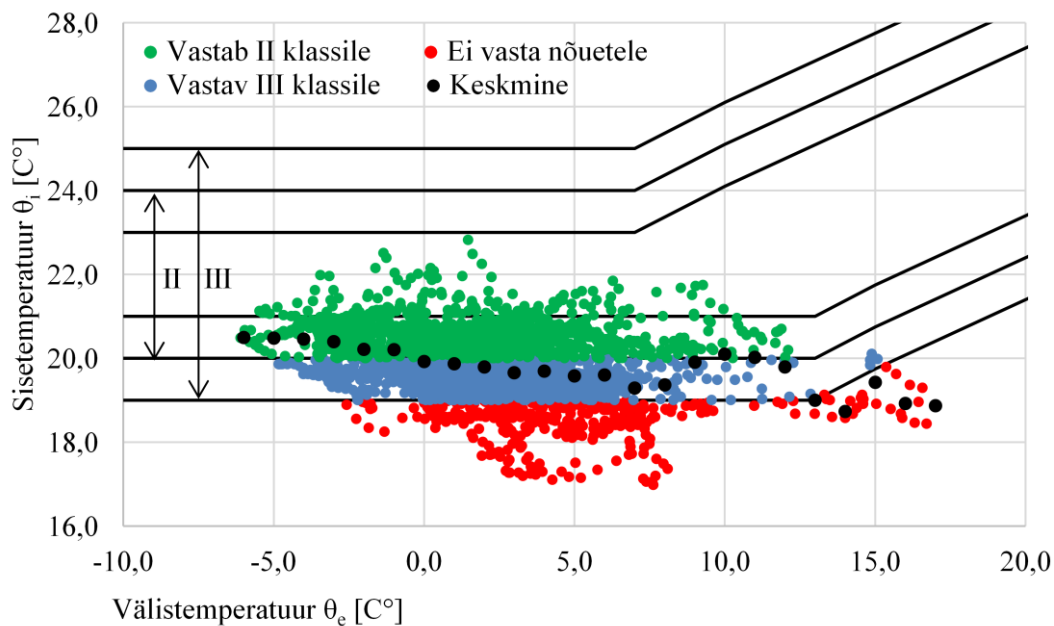
Joonis 37. Ülekõetud korteri sisetemperatuuride vastavus standardile

Ülekõetud korteris (joonis 37) oli temperatuur 27% ajast vahemikus 20°C kuni 24°C, ehk vastas sisekliima II klassi nõuetele. Temperatuuri oli vahemikus 24°C kuni 25°C 44% ajast ja vastas sisekliima III klassi nõuetele. Üle 25°C oli temperatuur 29% ajast ja jäi väljapoole sisekliimaklasside piirsuurusest.



Joonis 38. Standardile vastava kütterežiimiga korter

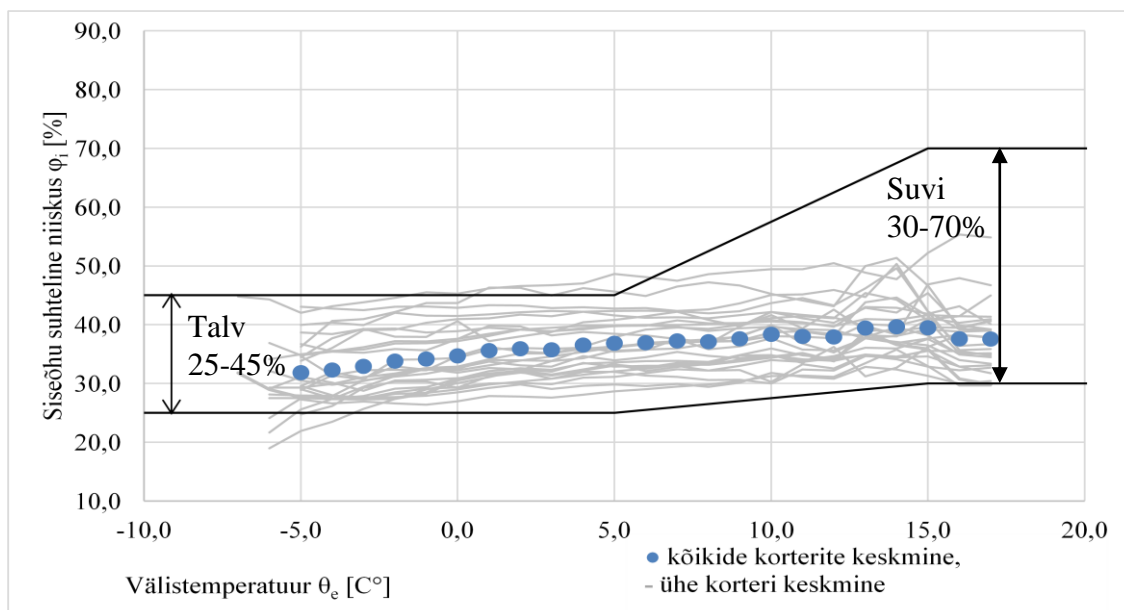
Standardile hästivastavas korteris (joonis 38) oli temperatuur sisekliima II klassi nõuetele (vahemikus 22°C ±2°C) vastav 98% ajast. Korteris keskmine temperatuur mõõteperioodil oli 22,2°C.



Joonis 39. Alakõetud korteri sisetemperatuuride vastavus standardile

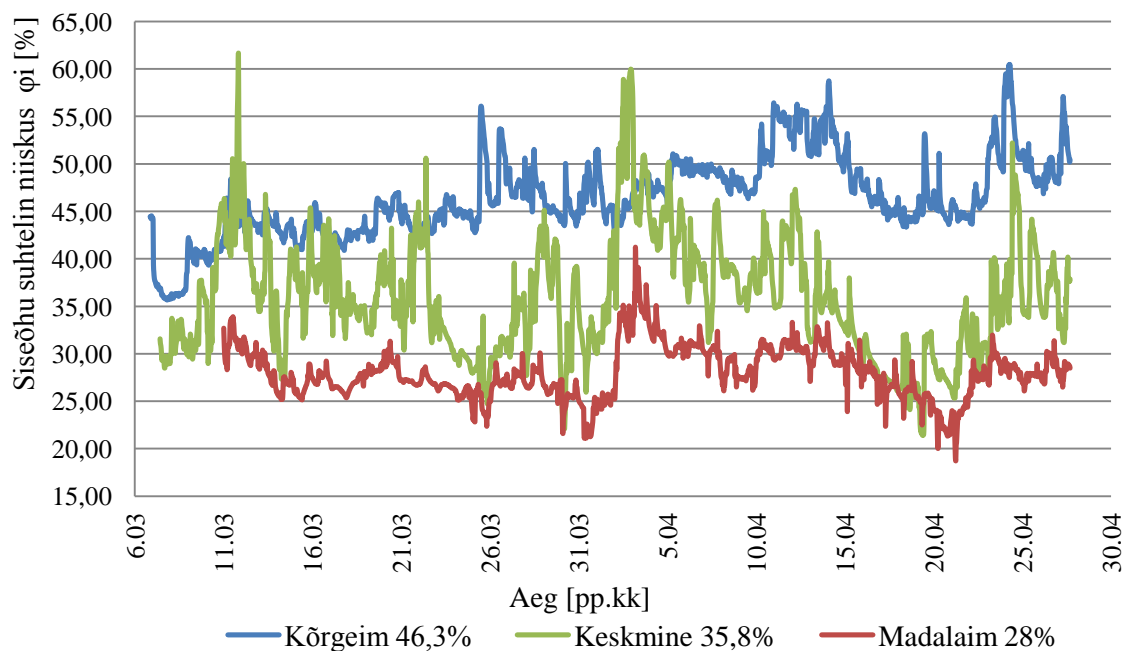
Alakõetud korteri (joonis 39) mõõteperioodi keskmine temperatuur oli 19,8°C. Sisekliima klassidele mittevastav temperatuur (alla 19°C) oli korteris 13% ajast. III klassile vastses 45% ja II klassile 42% ajast. Vabariigi valitsuse määruses nr 85 [12] on kehtestatud nõue, et eluruumi temperatuur, kus inimene pikemaajaliselt viibib, ei tohi olla alla 18°C. Alakõetud korteris langes temperatuur alla 18°C ~1,5% mõõteperioodi ajast.

Iga uuritud korteri siseõhu suhtelise niiskuse mõõtetulemused jaotati vastavalt välitemperatuurile. Iga välitemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati siseõhu keskmine suhteline niiskus, mis esindab kindla korteri suhtelist õhuniiskust. Korterite keskmise siseõhu suhtelise niiskuse sõltumine välitemperatuurist on esitatud joonisel 40.



Joonis 40. Korterite siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välitemperatuurist

Mõõteperioodi keskmine suhteline õhuniiskuse oli korterites 35,6%. Kõikumine oli vahemikus 16,3% kuni 67,3%. Kõige madalam keskmine suhteline õhuniiskuse oli 28% ja kõige kõrgem keskmine suhteline õhuniiskuse oli 46,3%. Keskmisele kõige lähemal-, kõrgeima-, ja madalaima keskmise suhtelise õhuniiskusega korterite näitaja kõikumine on esitatud joonisel 41.

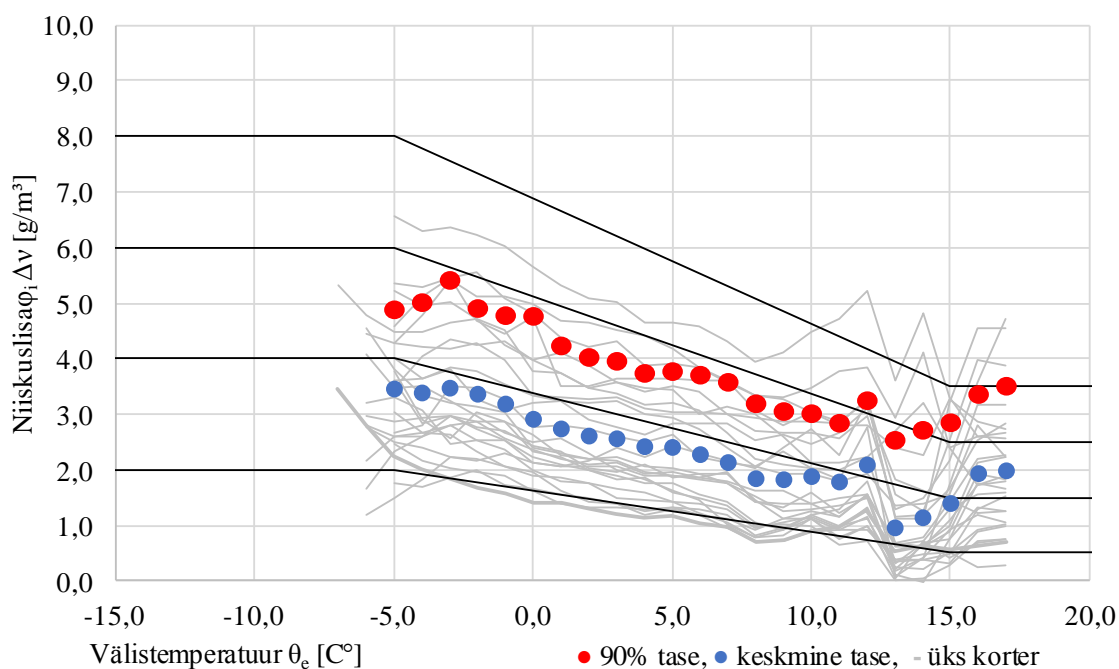


Joonis 41. Kolme korteri siseõhu suhtelise niiskuse muutus ajas.

Siseõhu suhtelise niiskuse kõikumine on olnud eriti suur korteris, mille keskmine väärtus on korterite üldisele keskmisele kõige lähemal. Suur suhtelise õhuniiskuse kõikumine võib olla tingitud pesu kuivatamisest eluruumides, mida selles korteris tehakse küsitlusankeedi põhjal tihti.

Korteris siseõhu suhteline niiskus sõltub paljudest parameetritest: sisetemperatuurist, välisõhu veeaurisisaldusest ja välisõhu temperatuurist, niiskustootlusest ja ventilatsiooni toimivusest. Siseruumide niiskuskooormuse suurust ei saa hinnata ainult suhtelise õhuniiskuse järgi, selleks kasutatakse niiskuslisa. See näitab sise- ja välisõhu veeaurisisalduste erinevust.

Niiskuslisa sõltuvus välistemperatuurist on toodud joonisel 42. Käesolevas uuringus on niiskuslisa keskmine arvutussuurus, 90% kriitilisuse tasemel, $3,8 \text{ g/m}^3$. Korterite kaupa jäid niiskuslisa keskmised väärtused samal tasemel vahemikku $2,55 \text{ g/m}^3$ kuni $5,43 \text{ g/m}^3$.



Joonis 42. Niiskuslisa sõltuvus välistemperatuurist

Võrreldes varasemate uuringutulemustega, mille tulemused on toodud ptk. 1.4.2. (joonis 7), on käesolevas uuringus osalevate korterite niiskuskooormus 90% kriitilisuse tasemel ca. poole madalam ($3,8 \text{ g/m}^3$), kui $6...7 \text{ g/m}^3$. Niiskuskooormuse madalam tase võib olla mõõtmiste ajast, mil oli hoonetes kütteperiood ja see vähendab niiskuskooormust.

3.4. Hoone piirete õhupidavus

Hoonepiirete õhupidavuse määramiseks kasutati ventilaatoriga survestamise meetodit, *BlowerDoor* mõõteaparatuuriga. Korterite piirete õhupidavus määrati seitsmes korterelamus kokku 26 korteris. Kuna mõõtmine toimus korterite kaupa, sisaldavad tulemused ka korteritevahelisi õhulekkeid, mis võivad olla mõjutatud korterite vahelistest kütetorude läbiviikudest jms ebatihedustest vaheseintes.

Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmistulemused (tabel 12) on esitatud kahe näitaja põhjal:

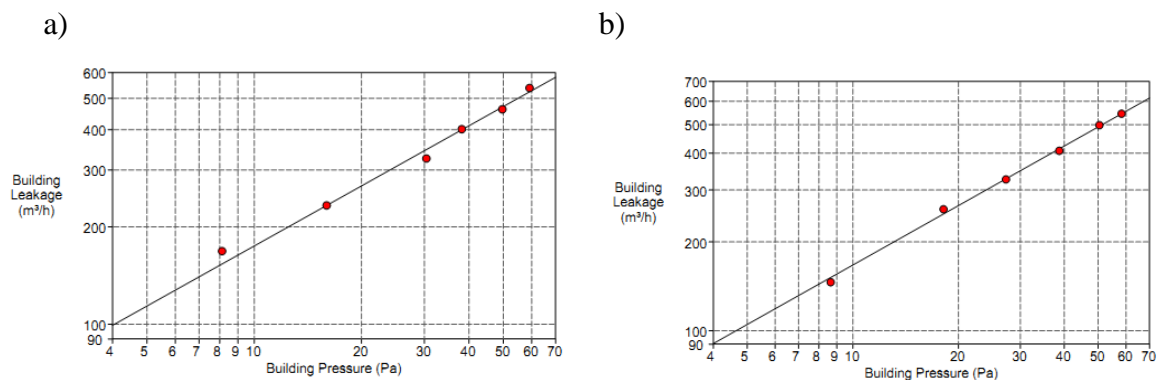
- 1) õhulekkearv q_{50} , $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, mis näitab lekkeõhu suurust 50Pa juures, jaotatuna korteri piirdetarindite (välisseinad, korteritevahelised seinad ja vahelaed, pööningulaed) pindalale;
- 2) õhuvahetuskordsus 50Pa juures n_{50} , h^{-1} , mis näitab lekkeõhu suurust 50Pa juures jaotatuna korteri kubatuurile.

Õhulekkearv ja õhuvahetuskordsus on sõltuvad ruumi mõõtmetest. Igas korter mõõdeti laserkaugusmõõdikuga üle. Arvutati põrandate ning välis- ja korteritevaheliste seinte pindalad ja korteri ruumala. Ruumide mõõtmed on toodud lisas 1 korterite koondtabelis.

Alarõhu- ja ülerõhu testi tulemusena saadi teada lekkeõhu suurused, näitena on esitatud lekkeõhu graafikud joonisel 43, sama kogus õhku mis läbis mõõteseadme ventilaatorit, läbis ka korteri piirdekonstruktsioone.

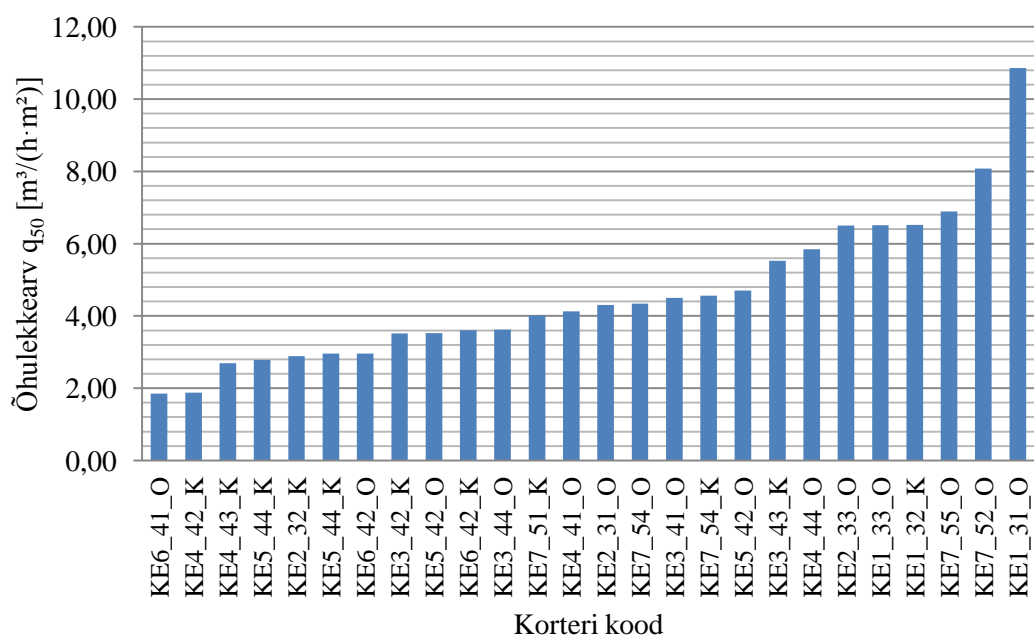
Tabel 12. Korterite õhupidavuse mõõtetulemused

Korteri kood	Õhulekkearv, q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]	Õhuvahetuskordsus 50 Pa juures, n_{50} [h^{-1}]	Korteri kood	Õhulekkearv, q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]	Õhuvahetuskordsus 50 Pa juures, n_{50} [h^{-1}]
KE1_31O	10,86	16,33	KE5_42Oa	3,52	5,47
KE1_32K	6,52	9,98	KE5_44Ka	2,96	4,31
KE1_33O	6,51	9,90	KE5_42Ob	4,70	6,95
KE2_31O	4,30	6,47	KE5_44Kb	2,78	4,05
KE2_32K	2,89	4,17	KE6_42O	2,96	4,13
KE2_33O	6,50	9,69	KE6_41O	1,85	2,76
KE3_43K	5,52	8,60	KE6_43K	3,60	5,50
KE3_44O	3,63	5,86	KE7_54K	4,57	6,96
KE3_41O	4,50	7,17	KE7_55O	6,89	10,32
KE3_42K	3,52	5,44	KE7_51K	4,01	6,83
KE4_42K	1,88	2,89	KE7_52O	8,08	12,34
KE4_41O	4,13	6,30	KE7_54O	4,34	6,35
KE4_43K	2,69	4,09			
KE4_44O	5,85	9,54			



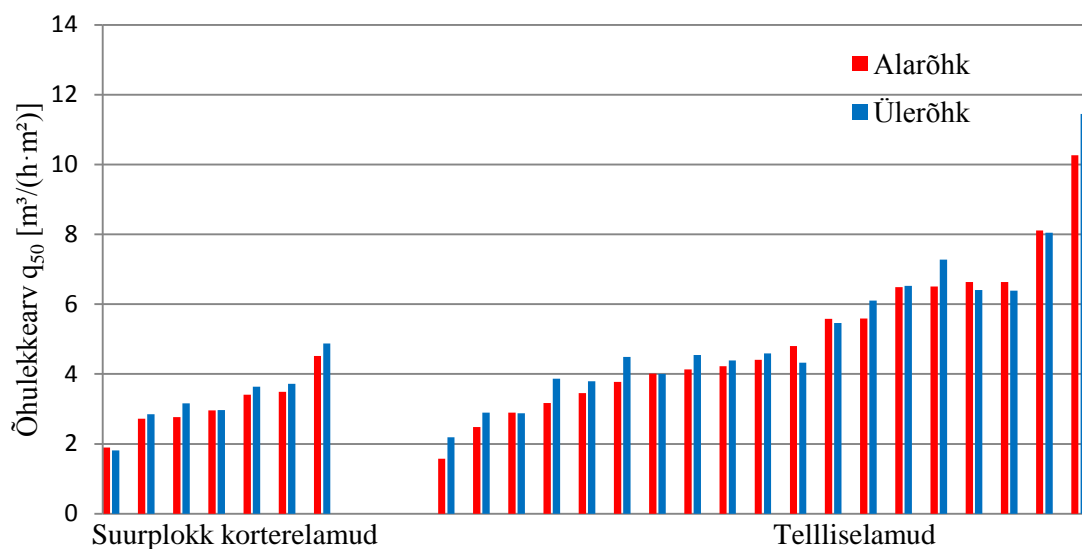
Joonis 43. Ühe korteri alarõhu (a) ja ülerõhu (b) lekkeõhu graafikud

Kõigi mõõdetud korterite keskmine õhulekkearv q_{50} on $4,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja keskmine õhuvahetuskordsus 50Pa juures n_{50} on $7,01 \text{ h}^{-1}$. Madalaim õhulekkearv on $1,85 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja kõrgeim $10,86 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Madalaim õhuvahetuskordsus 50Pa juures on $2,76 \text{ h}^{-1}$ ja maksimaalne õhuvahetuskordsus on $16,33 \text{ h}^{-1}$ (joonis 44).



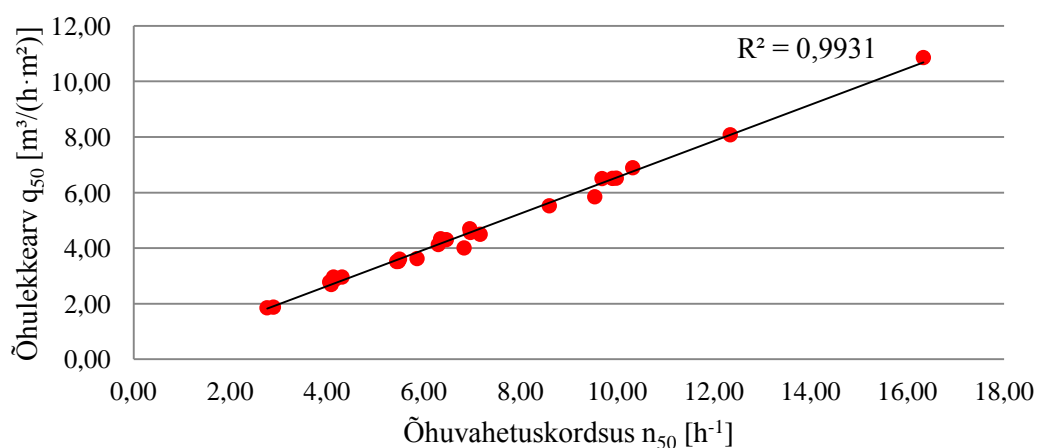
Joonis 44. Õhupidavuse mõõtetulemused vastavalt korteritele

Jooniselt 45 on näha, et suurplokkidest korterelamute keskmine õhulekkearv on väiksem ($q_{50} = 3,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$) kui tellisestintega korterelamutel ($q_{50} = 5,1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$). See võib olla tingitud paremast ehituskvaliteedist ja vähematest vuukide arvust välispiirdes, mille kaudu on õhulekked võimalikud.



Joonis 45. Korterelamu õhulekkearvu q_{50} sõltuvus välisseina materjalis

Õhulekkearv ja õhuvahetuskordsus ei ole võrdsed, kuna sõltuvad vastavalt korteri piirdetarindite pindalast ja sisekubatuurist (joonis 46). Need sõltuvad korteri plaanilahendusest ja ruumide kõrgusest. Mida lihtsama plaanilahendusega (nelinurkne) on korter, seda väiksemad on õhulekked, kuna piirete liitekohad on peamised õhulekkekohad [36].



Joonis 46. Õhulekkearvu q_{50} ja õhuvahetuskordsuse n_{50} suhe korterites.

Võrreldes varasemate Eestis läbiviidud uuringutulemustega [14] [36] (tabel 13) on käesoleva uuringu korterite mõõtetulemused keskmiselt suuremad (tabel 13).

Tabel 13. Käesoleva uuringutulemuste võrdlus varasemate uuringutega

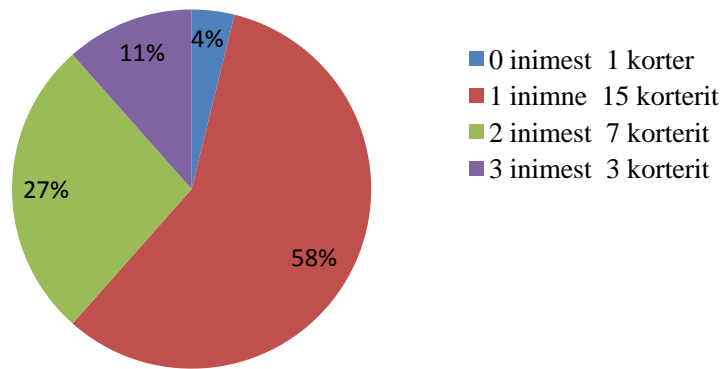
Varasem uuring		Õhulekkearv, q_{50} [m ³ /(h·m ²)	Õhuvahetuskordsus 50 Pa juures, n_{50} [h ⁻¹]
Telliskorterelamud [14]		4,0	5,7
Elamupiirete õhupidavus [36]	Tellis	3,2	4,7
	Suurplokk	3,8	5,7
Käesolev uuring			
Telliskorterelamud		5,1	7,6
Suurplokk korterelamud		3,2	4,6

Tabelis 13 väljatoodud varem uuritud telliskorterelamute õhulekkearv ja õhuvahetuskordsus 50Pa juures on väiksemad kui käesoleva uuringu tulemused, see võib olla mõjutatud mõõdetud korterite asukohast majas (keskel või otsapeal). Varasemates uuringutes on telliskorterelamutena käsitletud ka teistsuguse plaanilahendusega hooneid. Kuna õhulekkearv ja õhuvahetuskordsus on sõltuvad uuritava korteri pindalast ja ruumalast, võib ökonoomsem plaanilahendus (vähem nurkasid) keskmist väärtust mõjutada.

3.5. Korterialanike küsitlus

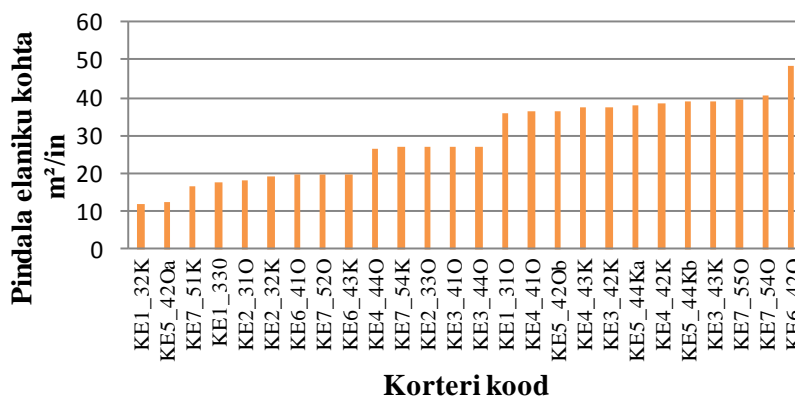
Korterialanike küsitlus viidi läbi kõigis korterites (26 tk), kus toimusid sisekliima monitooring ja piirete õhupidavuse mõõtmine. Küsimustiku osadele küsimustele said elanikud anda vastuse jah/ei põhimõttel, kuid oli ka hinnangulisi küsimusi skaalal ühest seitsmeni (näiteks: temperatuur 1-soe 7-külm, õhk 1-kuiv 7-niiske).

Uuritud korteritest 88,5% olid elanike omandis ja 11,5% ehk 3 korteris elasid üürnikud. Keskmine elanike arv korteris on 1,5. Elanike arvu protsentuaalne ja absoluutne jaotus korterites on esitatud joonisel 45.



Joonis 45. Elanike jaotus korterites

Keskmiselt on iga elaniku kohta 29 m^2 elamispinda, mis on veidi madalam Eesti keskmisest elamistihedusest ($30,5 \text{ m}^2$ inimese kohta). Elamistihedus korterites (joonis 48) on väga varieeruv, kõige vähem elamispinda ühe inimese kohta on uuritud korteritest $11,9 \text{ m}^2$ ja kõige rohkem $48,6 \text{ m}^2$.



Joonis 48. Elamistihedus korterites

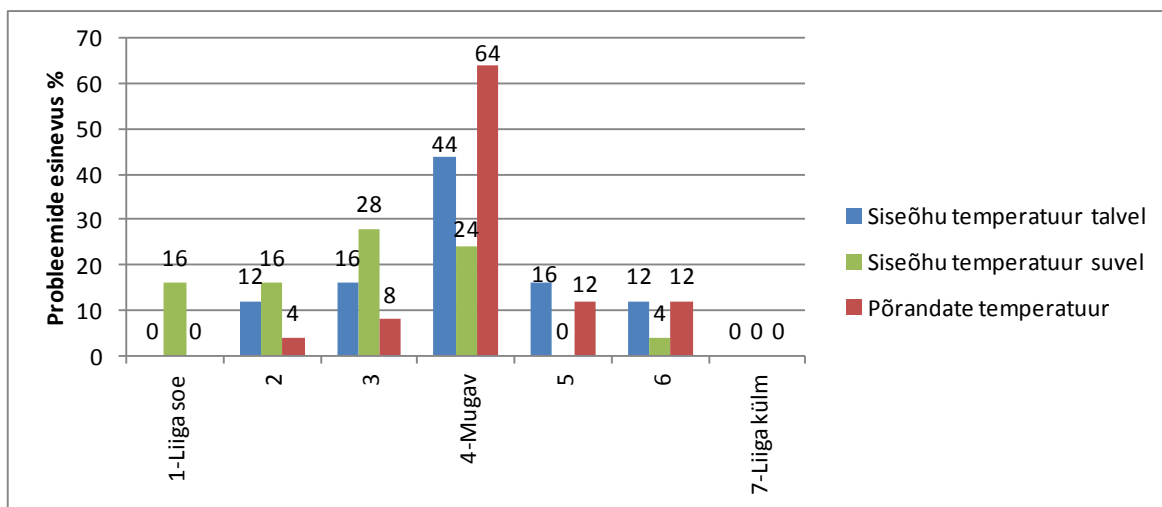
Valdavalt olid korterite aknad vahetatud viimase kümne aasta jooksul, vaid ühes uuritud korteris olid vanad puitraamiga aknad. Levinuim aknatüüp on ühes plastakraamis olev klaaspakett, sellised aknad on 81% korteritest. Igas eluruumis on vähemalt üks avatav aken, mis on oluline lisatuulutuseks.

Vähemal või rohkemal määral on remonttöid tehtud kõigis uuringuid läbiviidud korterites. Enim on kapitaalsematest remonttöödest tähelepanu pööratud pesuruumide ning köökide remondile. Vaid ühes korteris ei olnud peale akende vahetuse muid remonttöid ehitise

valmiseset saati tehtud. Sanitaarremondi vajadus on küsitletud inimeste hinnangul väga erinev. Kõige rohkem vastanutest tegi viimati sanitaarremonti 2-5 aastat tagasi.

Niiskuskahjustusi on esinenud 11-s korteris 26-st. Põhiline niiskuskahjustuse tekitaja on olnud torude lekkimine oma- või naaberkorterites. Hallituse teket täheldati 19% uuritud korteritest. Ainult ühe korteri puhul oli tegemist ulatusliku hallituse levikuga, kus magamistoas oli praktiliselt terve sein hallitusega kaetud. Ülejäänud juhtudel oli hallituse kolle väike, kas akende all või lae nurkades. Akende sisepinna udusust esineb 58% korterites, peamiselt esineb seda seoses toidu valmistamisega või hommikuti. Udu teke aknale tuleneb ebapiisavast ventilatsioonist. Samuti soodustab akna sisepinnale vee kondenseerumist pesu kuivatamine siseruumides, mida tehakse 73% uuritud korterites. Pesu kuivatamine siseruumides tõstab oluliselt niiskuskoormust korteris.

Kütte- ja ventilatsiooniprobleemide suurust hindasid küsitletud elanikud skaala 1-7, kus 1 temperatuuri puhul tähistab liiga sooja ja 7 liiga külma, hinnangud on lisas 3. Soojuslikku mugavust hinnati nii suve- kui talveperioodil pigem mugavaks (joonis 49).

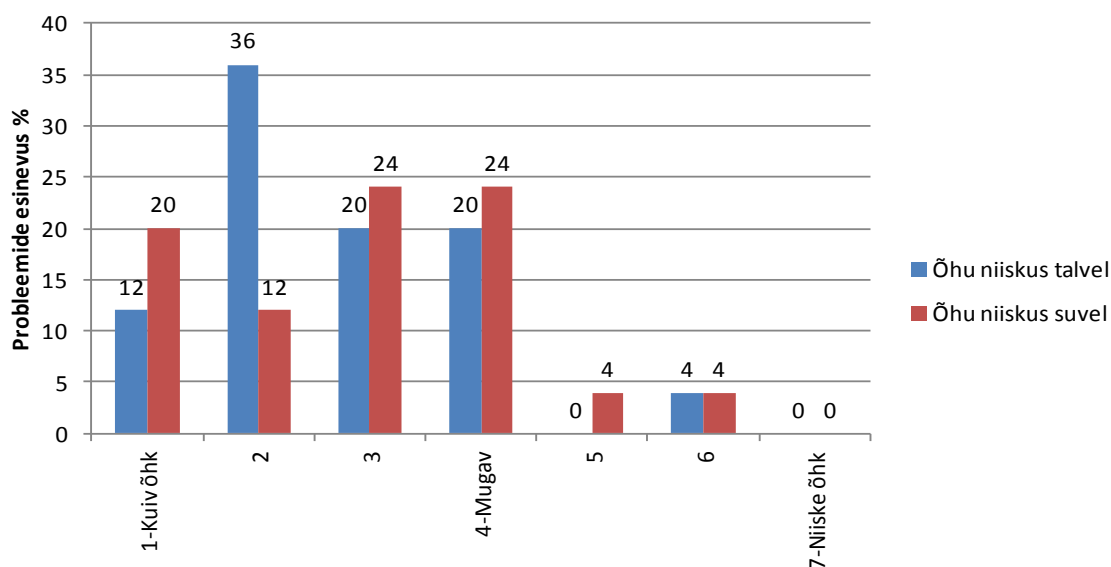


Joonis 49. Siseõhu- ja põrandatemperatuuride jaotus protsentuaalselt.

Talveperioodil on siseõhu temperatuur elanike hinnangul mugav 44% küsitletutest ja suveperioodil 24%. Suvel on ruumiõhu temperatuur pigem liiga soe, kuna puudub jahutussüsteem. Põrandate temperatuuri hinnati mugavaks 64% korterites, äärmuslikult külmaks põrandaid ei hinnatud. Temperatuuri reguleerimisvõimalust peeti ebapiisavaks vaid korterites, mis asuvad hoonetes kui ei ole renoveeritud küttesüsteemi. Uue kahetorusüsteemiga küttesüsteemi korral peeti kõigil juhtudel reguleerimisvõimalust piisavaks. 30% korterites kasutatakse lisakütmist (elektriradiaator või pühur), kuid seda

pigem sügisesel ja kevadisel ajal, kui toimub üleminek kütteperioodile või kütteperiood hakkab lõppema.

Korterite siseõhu suhteline niiskus on elanike hinnangul pigem kuiv ja seda nii suve- kui talveperioodil (joonis 50).



Joonis 50. Elanike hinnang õhuniiskusele.

Kolmveerand vastanutest tuulutab korterit suvel iga päev või päevas mitu korda ja 90% nendest kestab tuulutus kauem kui 30 minutit. 57% elanikest tuulutab korterit igapäevaselt ka talvisel perioodil. Peapõhjuseks tuuakse välja aastaringselt umbne õhk ja suvisel perioodil palavus. Öösiti on umbse õhu tõttu magamistoa aknad avatud aastaringselt 16% korterites ja suveperioodil 44% korterites.

Küsitluse põhjal andsid korterite elanikud hinnangu oma tervisele. Terviseprobleemide kohta andsid vastuse 92% küsitletud elanikest. Ülejäänud olid korterites elanud liiga lühikest aega, et esinevaid terviseprobleeme korteri sisekliimaga seostada. Vastamiseks oli kolm varianti: tihti, mõnikord ja ei esine. Ühtegi terviseprobleemi ei esine 25% vastanutest. Tihtiesinevatest probleemidest toodi välja peavaluprobleemid, uimasuse probleemid, silmade ärritus ja nahalööve, kuid neid igat ainult ühel korterielanikul. 12,5% küsitletutest esineb tihti kurgu kuivust. Mõnikord esinevatest probleemidest võrdselt 25% küsitletutest on uimasuse probleemid ja esineb silmade ärritus. Keskendumisrasuseid on mõnikord 16% vastanutest. Põhjendamatu väsimust ja kurgu kuivust tunnetavad mõnikord 12,5% vastanutest. Terviseprobleemide arvatavaks põhjuseks on ebakvaliteetne sisekliima, mis renoveerimise tulemusena peaks oluliselt paranema.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös on uuritud seitsme korterelamu tehnilist- ja sisekliimaatilist olukorda. Valitud korterelamud on nn "hruštšovkad", mis on ehitatud tüüpprojektide seeria 1-317 alusel, ajavahemikus 1959. - 1965. aastani. Sisekliima mõõtmised, korterite sisemine termografeerimine ja õhupidavuse mõõtmine toimusid kokku 26 korteris.

Hoonetele anti tehnilise seisukorra hinnang visuaalse vaatluse teel, numbrilise hindamisega. Hindamine toimus konstruktsiooniosade kaupa, skaalal 0 kuni 3. Kõigi seitsme korterelamu keskmine tehnilise seisukorra hinne on 1,91. Madalaim keskmine hinne on 1,72 ja kõrgeim 2,25. Hoonete üldine tehniline seisukord on rahuldav.

Vundamentide ja soklite probleemiks on vertikaalse hüdroisolatsiooni puudumine ja niiskuse tungimine keldritesse. Vahelagede üldine olukord on hea, esineb vähesel määral niiskuskahjustusi ja armatuur on nähtav üksikutes kohtades. Trepikodade põhiprobleemiks on trepiastmete kulumine ja sanitaarremondi vajadus. Välisfassaadide visuaalsel vaatlusel tuvastatud probleemid on praod fassaadikivides ja seinapinna märgumine. Telliselamute puhul esineb akende silluste vajumist. Akende olukord on hea, 85% uuritud korterelamute avatäidetest on vahetatud. Katuste ja pööningute puudusteks on niiskuskahjustustega sarikad ja roovitus. Puistevillaga soojustatud pööningute puhul on villakihi paksus ebaühtlane ja kohati tallatud.

Küttesüsteeme on renoveeritud ja neljas hoones on uus kahetorusüsteem, mille radiaatorite temperatuur on termostaatidega reguleeritav. Vanade ühetorusüsteemide puhul ei ole temperatuuri reguleerimisvõimalus piisav ja ruumides esineb ebaühtlane temperatuur. Tarbevee- ja kanalisatsioonisüsteemid on vananenud ja vaid osaliselt renoveeritud.

Hoonete termografeerimisel tuvastatud probleemid on telliselamutel külmasillad fassaadi sidekiviridade kohtades ja suurplokkide vuukides esinevad soojalekked. Akende aluses piirkonnas esineb kivide niiskumist ja soojustuse kokkuvajumist, eriti esimese korruse akende all. Korterite seestpoolt tehtud termografeerimine näitas soojalekkeid ja külmasillasid avatäidete ümbruses ning piirdetarindite liitekohtades. Külmasildade kriitilisuse hindamise tulemusena selgus nii hallituse kui kondensaadi tekkeoht.

Korterites mõõdetud keskmine temperatuur oli $+22,2^{\circ}\text{C}$. Temperatuurid kõikusid suures vahemikus $+13,2^{\circ}\text{C}$ -st kuni $+28,9^{\circ}\text{C}$. Maksimaalne keskmine temperatuur oli $+24,5^{\circ}\text{C}$ ja minimaalne keskmine $+19,7^{\circ}\text{C}$.

Keskmine suhteline õhuniiskuse korterites oli 35,6%, keskmiste vahemik oli 28% kuni 46,3%. Niiskuskooormust korterites hinnati siseõhu- ja välisõhu veeaurus sisalduste erinevuse järgi. Niiskust 90% kriitilisuse tasemel on keskmisena $3,8 \text{ g/m}^3$, mis on ligikaudu poole madalam varasematest uuringutulemustest.

Hoone piirete õhupidavuse hindamiseks mõõdeti uuritud korterite õhupidavust alarõhu- ja ülerõhu testiga. Korterite keskmine õhulekkearv on $4,6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja keskmine õhuvahetuskordsus 50Pa juures $7,01 \text{ h}^{-1}$. Õhulekkearvud jäid vahemikku $1,57 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ kuni $11,45 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Suurplokkidest korterelamud on õhupidavamad kui telliselamud.

Korterite elanike küsitluse tulemustest selgus, et keskmine elanike arv korteri on 1,5 inimest. Igale elanikule on keskmiselt 29 m^2 korteri pindala. Elamistihedus korterites on varieeruv. Aknad on vahetatud peamiselt plastikraamiga pakettakende vastu. Niiskuskahjustusi on esinenud 11-s korteris 26-st. Hallituse teket on täheldatud 19% korteritest. Niiskuse kondenseerumist aknapinnale on täheldatud 58% korteritest, mida soodustab pesu kuivatamine siseruumides.

Soojuslikku mugavust hinnati aastaringelt pigem mugavaks, kuid suveperioodil esineb palavust. Temperatuuri reguleerimisvõimalust peeti kahetoru küttesüsteemidega majades piisavaks ja puudulikuks vanade ühetorusüsteemidega majades. Siseõhu niiskust hinnati pigem kuivaks. Kortereid tuulutatakse igapäevaselt kauem kui 30 minuti 75% korteritest. Peamine tuulutuse vajaduse põhjusena tuuakse esile umbne õhk.

Uuritud korterelamutes on vajalik põhjalik renoveerimine, et tagada kvaliteetne sisekliima elanikele.

Tulevikus saab mõõdetud ja fikseeritud parameetreid võrrelda samatüübilist andmetega, kui neid kogutakse võimalusel samadest korteritest, kuid juba renoveeritud olukorras.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL SITUATION IN BRICK AND BLOCK DWELLINGHOUSES AND MEASUREMENTS OF INNER CLIMATE IN APARTMENTS BEFORE THE RENOVATION

Summary

In the modern world, more attention than ever is paid to having a comfortable and good quality environment. People spend a large part of their time in homes and therefore it is important to have comfortable residence with quality indoor environment.

In Estonia, almost 70% of apartments are in old dwelling houses with low energy efficiency and poor construction quality. Older apartment buildings are morally, physically and visually outdated and need thorough renovation. Large scale renovation is expensive and not affordable for a housing cooperative, therefore there are different actions to support renovation implemented in Estonia. For example, Tartu joined international SmartEnCity project which supports dwelling houses' renovation if energy efficient solutions are to be used.

The aim of this thesis is to examine and document constructions' technical condition and the indoor environmental parameters of dwelling houses built in 1960s and located in the centre area of Tartu. Buildings under examination are in the pilot area of SmartEnCity project and they have been planned to renovate in 2017 or 2018. The Estonian University of Life Sciences is going to investigate seven apartment buildings and 26 apartments in the project. In this thesis, the condition of houses is adjudged and indoor climate parameters are measured before renovation.

In the first chapter the author covers historic overview of similar buildings to examined buildings and gives an overview of the SmartEnCity project. Requirements for indoor climate is based on literature. Earlier researches results' highlight problems with technical condition and indicators of indoor climate. This part is mostly based on the results of researches made in Estonia, but there are also results from Finland, Lithuania and Latvia.

In the second chapter is methodology to evaluate the condition of building and indoor climate. Buildings' technical condition is assessed by visual survey and numerical rate is given to every dwelling house. All buildings are thermographed from outside and from inside of apartments to detect cold leakages. To measure and collect indoor temperature and relative humidity data, loggers were placed in the apartments. Air permeability of apartments is detected with fan pressurizing method.

Third chapter is dedicated to results of this research. The technical condition of the assessed buildings is satisfactory. Average value of technical condition on a scale from 0 to 3 is 1,91. Lowest average value is 1,72 and highest is 2,25. Foundations' and sockets' main problems are the lack of vertical hydro-isolation and humidity foray into cellar. Ceilings' overall condition is good, underact some moisture damages and armature is visible in few places. Staircases' faults are abraded stair steps and need for sanitary repairs. Problems detected on outside facades are cracks in facade bricks and wetness of the wall. In some places lintels are drooped. The condition of windows is good as 85% of the investigated dwelling houses' windows are changed. Roofs and attics' problems are moisture damaged rafters and scantlings.

Heating systems have been renovated in four apartment buildings, they have new two pipe heating system with thermostats on radiators. Old one pipe systems does not have enough capacity to regulate room temperature, in those cases temperature varies in different rooms. Water and sewer pipes were partly renovated.

In the process of thermography ascertained problems are thermal bridges all over the facade because of bonding bricks and fissures between the large blocks. The area under the windows has moisture damage and heat insulation is collapsed, especially under the first-floor windows. Results of the apartments' indoor thermography shows thermal bridges around the windows and in joints of boundary constructions. Thermal bridges are critical and there is danger of molding and vapour condensation.

Average relative humidity of the apartments indoor air was 35,6%. The moisture load in the apartments was evaluated by indoor air and outdoor air water vapour difference. Internal moisture excess was on average 3,8g/m³ (90% critical level) - that is almost half lower than the values seen in previous researches.

To assess the air permeability of apartments, the under- and overpressure test were carried out. Average air leakage value of the apartments was $4,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ and average air change rate at 50Pa was $7,0 \text{ h}^{-1}$. Large block dwellings are leaking less air than dwellings made of bricks.

The survey among the residents of apartments showed that the average number of residents in an apartment is 1,5 persons. Each person has to themselves an average surface area of 29 m^2 , but the density of persons per square meter varies. Moisture damages has occur in 11 apartments out of 26. Mold growth has been noticed in 19% of apartments. Water vapour condensation on the surface of windows has been discerned in 58% of apartments, that is caused by drying clothes indoor.

The thermal comfort was evaluated to be rather comfortable year-round, but during summer period there is more heat. Temperature adjustment possibilities were considered sufficient in the houses with two pipe heating systems. The indoor relative humidity was evaluated to be rather dry. The apartments are aired on daily basis for longer than 30 minutes in 75% of the apartments. Main reason for opening the windows is stuffy air.

In the investigated dwellings, through renovation is necessary to ensure quality indoor climate to residents.

In the future, measured and fixed data can be compared with same kind of data collected, if possible, from the same apartments, but already in renovated condition.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Pittini, A., Ghekière, L., Dijol, J. Kiss, I.** (2015). The State of Housing in the EU 2015. Brüssel: Housing Europe. 106 lk.
2. **Kalm, M.** (2002). Eesti 20. sajandi arhitektuur. Tallinn: Sild. 527 lk.
3. **Murula, R.** (2009). Linnaehituslik analüüs ja planeerimisettepanekud 1960-ndate tüüpelamute (seeria 1-317) kvartalite kaasajastamiseks. [Võrgumaterjal]. http://murula.eu/failid/visioon/I_linnaehituslik_analyys.pdf. (14.05.2017)
4. **Arman, H., Kammal, U., Üprus, H.** (1965). Eesti Arhitektuuri Ajalugu. Tallinn: Eesti Raamat. 578 lk.
5. **Virkus, K.** (15. veebruar 2017) Kas hruštšovkasid tasub renoveerida? - *Postimees*. http://majandus24.postimees.ee/4015411/kas-hrustsovkasid-tasub-renoveerida?_ga=1.61315180.1751234605.1460093862 (12.05.2017)
6. Tark Tartu Projekt SmartEnCity. [Võrgumaterjal]. <http://tarktartu.ee/avaleht/ulevaade/> (12.05.2017)
7. Tark Tartu Kavandatud tegevused [Võrgumaterjal]. <http://tarktartu.ee/avaleht/kavandatud-tegevused/> (12.05.2017)
8. Tark Tartu Pilootala [Võrgumaterjal]. <http://tarktartu.ee/avaleht/pilootala/> (12.05.2017)
9. Rahvusvaheline projekt: SmartEnCity. Tartu nutikas linnaosa. [Võrgumaterjal]. <http://tarktartu.ee/wp-content/uploads/2016/02/Info-korteri%C3%BChistutele-juuli-2016.pdf> (12.05.2017)
10. Targa linna korterelamu rekonstrueerimise toetus. Tartu Linnavolikogu määrus nr. 119. (vastu võetud 15.09.2016). - *Riigi teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/421092016025> (16.05.2017)
11. Rekonstrueerimise toetus. - *Kredex*. [Võrgumaterjal]. <http://www.kredex.ee/korteriuhistu/korteriuhistu-toetused/rekonstrueerimise-toetus/> (16.05.2017)
12. Eluruumidele esitatavad nõuded. Vabariigi valitsuse määrus nr. 85. (vastu võetud 02.07.2017). - *Riigi teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/103072015034> (16.05.2017)
13. **EVS-EN 15251:2007.** Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast. Tallinn: Eesti standardikeskus.

14. **Kalamees, T., Kõiv, T.-A., Liias, R., Õiger, K., Kallavus, U., Mikli, L., Ilomets, S., Kuusk, K., Maivel, M., Mikola, A., Klõšeiko, P., Agasild, T., Arumägi, E., Liho, E., Ojang, T., Tuisk, T., Raado, L.-M., Jõesaar, T.** (2010). Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline sisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõppraport. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond.
15. **Kalamees, T., Õiger, K., Kõiv, T.-A., Liias, R., Kallavus, U., Mikli, L., Lehtla, A., Kodi, G., Luman, A., Arumägi, E., Mironova, J., Peetrimägi, L., Korpen, M., Männiste, L., Murman, P., Hamburg, A., Tali, M., Seinre, E.** (2009). Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpparuanne. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond.
16. **Kalamees, T., Ilomets, S., Arumägi, E., Alev, Ü., Kõiv, T.-A., Mikola, A., Kuusk, K., Maivel, M.** (2011). Indoor Hygrothermal Conditions In Estonian Old Multy-storey Brick Apartment Buildings. - *The 12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Austin, Texas, USA.
17. **Kalamees, T.,** (2010) Indoor temperature and humidity conditions in Estonian old multi-storey apartment buildings composed of prefabricated concrete elements. - *Proceedings of Clima2010 10th Rehva World Congress. Sustainable Energy Use in Buildings*. Antalya, Turkey.
18. **Kaha, Ü.** (2016). Hruštšovka renoveerimise võimalused SmartEnCity projekti raames. (Lõputöö). Tallinna Tehnikakõrgkooli ehitusteaduskond. Tallinn.
19. **Martuzevicius, D., Leivo, V., Tichonovas, M., Pekkonen, M., Prasauskas, T., Aaltonen, A., Sidaraviciute, R., Kiviste, M., Haverinen-Shaughnessy, U., Turunen, M., Krugly, E., Ciužas D., Pilkyte, L.** (2013) Improving Energy Efficiency of Housing Stock: Demonstration of Impacts on Indoor Environmental Quality and Public Health in Northern Europe. - *Proceedings ASHRAE IAQ 2013: Environmental Health in Low Energy Buildings*, Vancouver, Canada.
20. **Kamendere, E., Zogla, G., Kamenders, A., Ikaunieks J., Rochas, C.** (2015). Analysis of mechanical ventilation system with heat recovery in renovated apartment buildings. - *Science Direct. Energy Procedia* No.72, pp. 27-33.
21. **Jõesaar, T., Hamburg, A.** (2015) Korterelamute energiaauditite koostamise juhend. Tallinn: Eesti Kütte- ja Ventilatsiooniinseneride ühendus.
22. Ehitisregister. [Võrgumaterjal]. (16.05.2017)
23. **Keskküla, T.** (2010) Mitmekorruselise hoone tehnilise ja energeetilise seisundi hindamismetoodika. - *Inseneeria*, nr. 23, pp. 42-43.
24. * Nortim OÜ. (2003) Ekspertiisiakt E-302 Tartu Linna Keskraamatukogu tehnilise seisundi kohta, viidatud: Karus, A. (2004). Tartu linnale kuuluvate hoonete hooldusraamatute koostamise käivitamine Tartu Linna Keskraamatukogu näitel, (Magistritöö), Tartu: Eesti Põllumajandusülikool.
25. **EVS-EN 13187:2001.** Thermal performance of buildings - Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method. Tallinn: Eesti Standardikeskus

26. Infrared camera - b50. - *Thermoscan Co.* (termokaamera andmed). [Võrgumaterjal]. <http://www.thermoscan.co.th/b50.html>. (11.05.2017)
27. ThermaCAM B2 - *Flir Systems, Inc.* (termokaamera andmed).
28. **Paloniitty, S., Paloniitty, J., Haimilahti, J.** (2016). Termograafia Ehituses /Toimetaja Perema, A., Tallinn: ET INFOkeskuse AS.
29. **EVS-EN ISO 13788:2012.** Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
30. **Kalamees, T.** (2006). Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges. - *Proceedings of the Estonian Academy of Science, Eng, 2006, 12.* pp. 218-229.
31. Hobo® U12 Temp/RH Data Logger. - *Onset Computer Corporation.* [Võrgumaterjal]. http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/13127-B%20MAN-U12011.pdf (09.05.2017)
32. Arhiiv. - *Tartu ülikool, füüsika instituut, keskkonnanfüüsik labor.* [Võrgumaterjal]. <http://ilmajaam.physic.ut.ee/> (04.05.2017)
33. **Hutcheon, B. N., Handegord, O. B. G.** (1995) Building Science for a Cold Climate. National Research Council of Canada. 440 lk.
34. **EVS-EN 13829:2001.** Hoonete soojuslik toimivus. Hoonepiirete õhupidavuse määramine. Ventilaatoriga survestamise meetod. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
35. Minneapolis Blower Door, Building Airtightness Testing Systems - *The Energy Conservatory*, Minneapolis: The Energy Conservatory.
36. **Kalamees, T.** (2008). Elamute õhulekkearvu baasväärtuse väljaselgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise meetodika väljatöötamine. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool Ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetool .

LISAD

Lisa 1. Korterite koondandmed

Korteri kood	Korrus	Tubade arv	Asukoht majas		Pindala EHR [m ²]	Pindala mõõdetud [m ²]	Ruumala mõõdetud [m ³]	Perimeetri piirete pindala [m ²]	Korteri piirete pindala [m ²]
KE1_31O	1	2	NO-NW	ots	35,7	37,0	92,0	64,0	138,0
KE1_32K	2	2	SW	keskel	35,7	35,0	87,0	63,0	133,0
KE1_33O	3	2	NW-SW	ots	35,2	36,0	87,0	61,0	133,0
KE2_31O	1	2	NW-NE	ots	36,1	36,0	94,0	69,0	141,0
KE2_32K	2	2	SW	keskel	38,2	39,0	100,0	67,0	145,0
KE2_33O	3	1	SE-SW	ots	26,8	28,0	75,0	55,0	111,0
KE3_43K	3	2	NE	keskel	39,2	39,0	94,0	69,0	147,0
KE3_44O	4	1	SE-SW	Ots	27,2	26,7	65,2	52,0	105,4
KE3_41O	1	1	NW-SW	Ots	27,0	27,0	67,0	53,0	107,0
KE3_42K	2	2	SW	keskel	37,6	37,0	87,0	61,0	135,0
KE4_42K	2	2	SW	keskel	38,7	37,0	91,0	66,0	140,0
KE4_41O	1	2	SW-SE	Ots	36,5	36,0	90,0	66,0	138,0
KE4_43K	3	2	NE	Keskel	37,5	38,0	91,0	62,0	138,0
KE4_44O	4	1	NE-SE	ots	26,7	27,0	65,0	52,0	106,0
KE5_42Oa	2	2	S-W	Ots	36,6	35,4	86,6	63,9	134,6
KE5_44Ka	4	2	S	Keskel	37,9	37,7	99,5	69,4	144,7
KE5_42Ob	2	2	S-E	Ots	36,5	36,1	94,9	68,3	140,5
KE5_44Kb	4	2	N	keskel	39,0	37,6	97,9	67,6	142,7
KE6_42O	2	3	NW-SW	Ots	48,6	48,8	122,1	72,7	170,4
KE6_41O	1	2	NE-SE	Ots	39,1	39,0	96,3	65,2	143,2
KE6_43K	3	2	NE	keskel	39,3	38,2	92,9	65,2	141,8
KE7_54K	4	3	SW	Keskel	53,5	51,2	124,4	87,3	189,7
KE7_55O	5	2	SE-SW	Ots	39,5	38,0	94,0	65,0	141,0
KE7_51K	1	3	SW	Keskel	50,0	50,4	121,4	106,2	206,9
KE7_52O	2	2	SE-SW	Ots	39,2	37,2	89,6	62,3	136,7
KE7_54O	4	2	NW-SW	ots	40,7	39,5	96,5	62,2	141,2

Lisa 2. Tehnilise seisukorra hinnatavad osad ja hinded

		KE1	KE2	KE3	KE4	KE5	KE6	KE7
Vundamentide keskmine hinne	HV	2	2	2	2	1	2	2
Seinte keskmine hinne	HS	2	2	2	2	2	2	2
Vahelagede keskmine hinne	HVA	2	2	2	2	2	2	2
Katuste keskmine hinne	KH	1	1	3	2	2	2	1
Põhiliste ehituslike süsteemide keskmine hinne	HP	1,75	1,75	2,25	2	1,75	2	1,75
Uste ja akende keskmine hinne	HUA	2	2	2	2	2	2	2
Ühiskondlike ruumide keskmine hinne	HR	1	2	2	2	2	2	2
Teiste ehituslike süsteemide hinne	HTe	1,5	2	2	2	2	2	2
Küttesüsteemide keskmine hinne	HKU	3	1	3	3	2	1	3
Veevarustuse keskmine hinne	HV	2	2	2	2	2	2	1
Kanaliseerimisüsteemide keskmine hinne	HKA	1	2	1	1	1	3	1
Elektrisüsteemide keskmine hinne	HE	3	2	3	3	1	1	3
Tehniliste süsteemide keskmine hinne	HT	2,25	1,75	2,25	2,25	1,5	1,75	2
Kogu hoone keskmine hinne	H	1,82	1,76	2,24	2,04	1,72	1,96	1,80

Lisa 3. Korterialanike küsitluse kütte- ja ventilatsiooniprobleemide suurus

	Korteri kood	KE1_ 31O	KE1_ 32K	KE1_ 33O	KE2_ 31O	KE2_ 32K	KE2_ 33O	KE3_ 43K	KE3_ 44O	KE3_ 41O	KE3_ 42K	KE4_ 42K	KE4_ 41O	KE4_ 43K	KE4_ 44O
Kütte- ja ventilatsiooniprobleemide suurus															
Siseõhu temp. Talvel	1-Liiga soe 7-Liiga külm	4	4	3	6	4	5	4		4	4	4	6	3	5
	1-Püsiv temp. 7-kõikuv temp.	3	2	2	6	4	4	1		1	1	1	7	1	2
Põrandate temp. Talvel	1-Liiga soe 7-Liiga külm	3	4	6	5	6	4	4		4	4	2	6	4	5
Tõmbetuul talvel	1-Suur 7-Väike	4	7	7	7	7	7	7		7	7	7	7	7	7
Siseõhu kvaliteet talvel	1-Värske õhk 7-Umbne õhk	6	4	4	6	4	4	2		6	2	2	3	6	2
	1-Lõhnatu 7-Halb lõhn	6	3	1	1	2	5	1		1	1	1	6	4	1
	1-Kuiv õhk 7-Niiske õhk	2		6	4	2	4	2			4	4	2	3	3
Staatilise elektri probleem	1-On probleem 7-Ei ole probl.	7	7	1	7	1	7	7			7	7	7	6	7
Siseõhu temp. Suvel	1-Liiga soe 7-Liiga külm	4	4	1	4	2	4	6			1	3	4	3	
	1-Püsiv temp. 7-kõikuv temp.	1		3	2	6	5	5			6	5	7	1	
Tõmbetuul suvel	1-Suur 7-Väike	5	4	7	7	7	7	7			7	7	7	7	
Siseõhu kvaliteet suvel	1-Värske õhk 7-Umbne õhk	3	4	7	2	1	4	4			5	4	1	5	
	1-Lõhnatu 7-Halb lõhn	3	4	1	1	1	7	1			1	1	4	1	
	1-Kuiv õhk 7-Niiske õhk	4	3	1	1	2	1	5			4	4	2	4	
Kütteseadmete müra	1-On probleem 7-Ei ole probl.	1	1	1	1	1	1	4		1	1	1	1	1	1
Vent. Seadmete müra	1-On probleem 7-Ei ole probl.	1	1	1	2	2	1	1		1	1	1	1	1	1

Lisa 3. jätk

	Korteri kood	KE5_ 42Oa	KE5_ 44Ka	KE5_ 42Ob	KE5_ 44Kb	KE6_ 42O	KE6_ 41O	KE6_ 43K	KE7_ 54K	KE7_ 55O	KE7_ 51K	KE7_ 52O	KE7_ 54O
Kütte- ja ventilatsiooniprobleemide suurus													
Siseõhu temp. Talvel	1-Liiga soe 7-Liiga külm	4	4	2	2	3	2	3	4	6	5	5	4
	1-Püsiv temp. 7-kõikuv temp.	4	1	7	2	1	1	3	1	6	6	5	1
Põrandate temp. Talvel	1-Liiga soe 7-Liiga külm	4	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4
Tõmbetuul talvel	1-Suur 7-Väike	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	4	7
Siseõhu kvaliteet talvel	1-Värske õhk 7-Umbne õhk	4	4	5	7	4	3	5	6	3	3	4	4
	1-Lõhnatu 7-Halb lõhn	4	1	1	2	2	1	1	2	5	2	4	5
	1-Kuiv õhk 7-Niiske õhk	3	4	1	1	2	3	2	1	2	3	2	2
Staatilise elektri probleem	1-On probleem 7-Ei ole probl.	2	7	7	7	7	7	6	2	7	7	4	7
Siseõhu temp. Suvel	1-Liiga soe 7-Liiga külm	3	1	1	2	2	3	3	2		3	4	3
	1-Püsiv temp. 7-kõikuv temp.	4	4	1	5	4	2	7	7		5	4	5
Tõmbetuul suvel	1-Suur 7-Väike	7	6	7	7	7	7	5	7		5	4	7
Siseõhu kvaliteet suvel	1-Värske õhk 7-Umbne õhk	4	1	2	7	4	1	4	6		4	5	2
	1-Lõhnatu 7-Halb lõhn	4	1	1	2	1	1	1	5		2	4	1
	1-Kuiv õhk 7-Niiske õhk	3	4	1	1	3	4	3	6		3	3	2
Kütteseadmete müra	1-On probleem 7-Ei ole probl.	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Vent. Seadmete müra	1-On probleem 7-Ei ole probl.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, MIHKEL VITSUT,
(sünnipäev pp/kuu/aa 28.11.1991)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Tellis- ja suurplokk korterelamute ehitustehnilise seisukorra hindamine ja korterite
sisekliima renoveerimiseelne mõõtmine,

mille juhendajad on nooremteadur Martti-Jaan Miljan ja professor Jaan Miljan,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
allkiri

Tartu, _____
kuupäev

Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)